This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

https://books.google.com

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

Stanford University Libraries
36105046916750

SLABY

ENTDECKUNGSFAHRTEN IN DEN ELEKTRISCHEN OZEAN

621.3841 .S631 C.1
... Entdeckungsfahrten
Stanford University Libraries
3 6105 046 916 750

EIN VIERTELJAHRHUNDERT DRAHTLOSE TELEGRAPHIE

von O. NAIRZ

DA.D041
S631

STANFORD·VNIVERSITY·LIBRARY

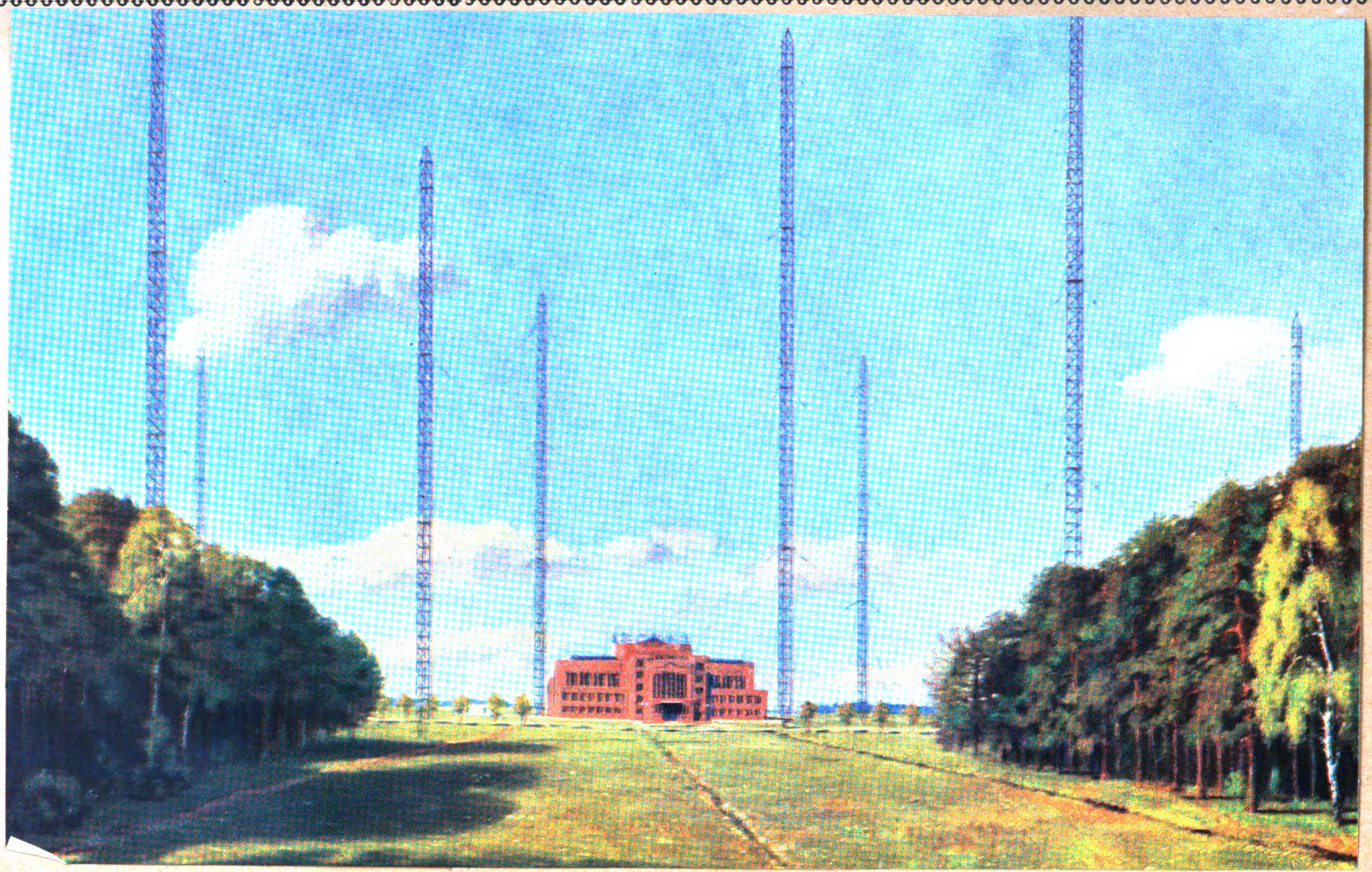
Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Entdeckungsfahrten
in den elektrischen Ozean

Digitized by Google



Telefunken-Großstation Nauen

Digitized by Google

A. Slaby

Entdeckungsfahrten
in den elektrischen Ozean

Ein Vierteljahrhundert drahtlose Telegraphie

Sechste Auflage
neu bearbeitet von

O. Nairz
Oberingenieur

STANFORD LIBRARY

Berlin W 57
Verlag von Leonhard Simion Nf.

Digitized by Google

316888

Inhalt.

	Seite
Vorwort	5
1. Von irdischen und überirdischen elektrischen Kräften	7
2. In den Fluten der Strömung	23
3. Wärme und Licht, die elektrischen Geschwister	34
4. Ein Spaziergang in einem Sonnenstrahl	58
5. Die Anfänge der Funkentelegraphie	75
6. Die Marine und die Funkentelegraphie	115
7. Abgestimmte und mehrfache Funkentelegraphie	131
8. Die Technik der elektrischen Wellen	142
9. Resonanz und Dämpfung elektrischer Wellen	167
10. Drahtloses Fernsprechen	190
11. Ein Vierteljahrhundert drahtlose Telegraphie	206
12. Die Großstation Nauen-Geltow	227
Anhang.	
Chronik der drahtlosen Telegraphie	236
Lebensbild von Adolf Slaby	238

Alle Rechte einschließlich des Rechtes der Übersetzung vorbehalten.
Copyright 1923 by Leonhard Simion Nf. in Berlin.

Digitized by Google

Vorwort.

Dieses für den gebildeten Laien bestimmte Buch ist zum größten Teil aus Vorträgen hervorgegangen, die Professor Slaby vor verschiedenen Zuhörerkreisen hielt. Im Vorwort der früheren Auflagen ist besonders Kaiser Wilhelm II. erwähnt, dessen Familie und Gefolge in der Charlottenburger Technischen Hochschule Slabys Vortragskunst und Beredsamkeit lauschten, welche mit einem seltenen Vermögen, den sprödesten Stoff verständlich und interessant zu gestalten, gepaart war. Das warme und der deutschen Industrie so wertvolle Interesse Wilhelms II. für die Technik hat ihn nicht nur häufig mit Slaby zusammengebracht, sondern ist zu einem guten Teil von diesem geweckt worden und diesen Vorträgen zu danken.

In den Kapiteln 5, 6 und 7 sind Professor Slabys erste Entdeckungsfahrten in das Gebiet der drahtlosen Telegraphie geschildert, von dem die Erfindungen Marconis den Vorhang eben etwas gelüftet hatten. Sie sind für diesen, an Erfolgen so reichen Zweig der Technik von historischem Wert. Interessant auch nicht zuletzt, weil sie dem Leser Gelegenheit bieten, der Forschertätigkeit eines bedeutenden Mannes zu folgen, für die auch häufig gilt: Himmelhoch jauchzend, zu Tode betrübt, denn nicht eben leicht läßt sich die Natur ihre Geheimnisse entreißen.

An den Kapiteln der früheren Auflagen mußte der Herausgeber zu seinem Bedauern aus räumlichen Gründen einige Kürzungen vornehmen, besonders da es wichtig war, die Weiterentwicklung der drahtlosen Telegraphie etwas breiter zu schildern. Dabei wurde der Hauptwert darauf gelegt, den Leser besonders mit dem deutschen Telefunkensystem bekannt zu machen, das sich aus der Forschertätigkeit Professor Slabys entwickelt hat.

Digitized by Google

Der Herausgeber fühlte sich zu vorliegender Arbeit um so mehr berechtigt, als er während einer Zeitspanne von mehr als 10 Jahren der erste Assistent Professor Slabys gewesen ist und auch in seinem Buche „Einführung in die Elektrotechnik" (Johann Ambrosius Barth, Leipzig) bereits den Inhalt von Slabys Vorlesungen über Elektrotechnik herausgab, die er für ihn, nach der Erkrankung, $3^1/_2$ Semester lang gehalten hat.

Eine Biographie des Verfassers der „Entdeckungsfahrten", Geheimrat Prof. Dr. A. Slaby, findet der Leser am Schlusse dieses Buches.

Für das Zustandekommen dieses Werkes erlaubt sich auch an dieser Stelle seinen Dank dem Verlag sowie der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. auszusprechen

Potsdam, im Oktober 1922

Der Herausgeber.

Digitized by Google

1.

Von irdischen und überirdischen elektrischen Kräften.

Ein jedes Experiment bedingt erst dann einen technischen Fortschritt, wenn die beabsichtigte Wirkung sicher hervorgerufen und nach Maß und Zahl vorausberechnet werden kann. Der elektrische Bogen mit seiner Fülle von Licht, war lange bekannt, seine praktische Anwendung ist aber erst mit der Elektrotechnik möglich geworden. Wenn man z. B. bei einem Scheinwerfer der Marine von einer elektrischen Spannung von 50 Volt und einer Stromstärke von 80 Ampere spricht, so kennzeichnet man dadurch die Größe seiner Leistung sowie den erforderlichen Kraftbedarf. Der Elektrotechniker bedient sich also bei seinen Entwürfen gewisser Benennungen und Einheiten für die elektrischen Größen; ich will nun den Begriff der elektrischen Spannung an einigen Beispielen erläutern.

Die Anschlußpunkte einer Dynamomaschine oder einer anderen Quelle elektrischer Kraft nennt man die Pole derselben. Von hier gehen die Drähte aus, welche die elektrische Wirkung bis zum Orte ihrer technischen Verwendung weitertragen. Befreit man die Pole von der Drahtleitung, so kann man an ihnen eine ihrer wesentlichsten Eigenschaften, ihre elektrische Spannung erkennen. Die Kenntnis der elektrischen Spannung reicht weit zurück ins Altertum. Es wird uns berichtet, daß schon einer der sieben Weisen Griechenlands, Thales von Milet, etwa 600 v. Chr. diese Erscheinung wahrnahm an dem geriebenen Bernstein, dem Elektron, von welchem her ja auch die Erscheinung ihren Namen trägt. Wenn man Bernstein reibt, erhält er die Fähigkeit, leichte Gegenstände, wie Papierschnitzel, anzuziehen und nach einiger Zeit wieder abzustoßen. Nirgends im Altertum finden wir aber den Gedanken, daß diese Erscheinung zusammenhinge mit der-

Digitized by Google

jenigen des Blitzes, des „gesammelten Feuers der Wolken", wie man den Blitz damals bezeichnete. Das Altertum ist außerordentlich arm an wirklichen naturwissenschaftlichen Kenntnissen, und das häufig gerühmte Aufleben der Wissenschaften am Ende des Mittelalters ist zunächst eigentlich weiter nichts als ein Rückfall in die Irrtümer des Altertums.

Im Beginn des Mittelalters lernte man eigentümliche elektrische Erscheinungen animalischen Ursprungs kennen. An den Gestaden des Mittelmeers lebt ein Fisch, der Zitterrochen oder Torpedofisch, welcher die Eigenschaft hat, elektrische Schläge zu erteilen. Die Mitbewohner des Meeres umziehen diesen Fisch in weitem Umkreise und die Fischer fürchten ihn beim Fange. In den Gewässern von Südamerika hat man später noch einen gefährlicheren Fisch entdeckt, den Gymnotus electricus, welcher noch wesentlich stärkere elektrische Kräfte besitzt. Fesselnd ist die Schilderung, die Alexander von Humboldt in den „Ansichten der Natur" von dem Kampfe der Rosse der Steppe mit den elektrischen Gymnoten gibt. Um diese Fische zu fangen, die ein sehr wohlschmeckendes Fleisch haben, treibt man die Pferde in einen von Gymnoten erfüllten Sumpf; dort stehen sie zitternd mit gesträubter Mähne, mit fliegenden Nüstern und dulden die Schläge der Gymnoten, die sich, selber erschreckt, schlangenartig unter ihrem Bauch dahinwinden, bis ihre elektrische Kraft erschöpft ist. Dann ziehen die Eingeborenen sie mit Harpunen ans Land und töten sie.

Aus dem Mittelalter wird uns ferner berichtet, daß auch einzelne hervorragende Menschen sich durch elektrische Eigenschaften auszeichneten. So wird von Theoderich dem Großen, dem Gotenkönig, erzählt, daß er beim Gehen Funken sprühte. Diese Erscheinung kann jeder erzeugen, auch ohne ein Theoderich zu sein. Wenn wir uns abends in einem geheizten Zimmer, bei trockner Außenluft, unserer wollenen Unterkleider entledigen, vernehmen wir nicht selten ein eigentümliches knisterndes Geräusch, und wenn wir aufmerksam sind, können wir deutlich sehen, daß kleine bläuliche Funken überspringen. Wenn wir mit einem Gummikamm durch das Haar fahren, machen wir ganz ähnliche Wahrnehmungen.

Digitized by Google

Von einer wirklich wissenschaftlichen Betrachtung dieser elektrischen Spannungserscheinung, die also bekannt war, ist nicht die Rede. Erst im 17. Jahrhundert setzt die Forschung ein, und in der Mitte dieses Jahrhunderts erzeugt zum erstenmal der gelehrte Bürgermeister von Magdeburg, Otto von Guericke, nennenswerte elektrische Spannungen mittels einer von ihm erfundenen elektrischen Maschine. Daran schließt sich im 18. Jahrhundert eine unaufhörliche Reihe von wissenschaftlichen Studien über die elektrische Spannung, bis endlich am Ende desselben Coulomb durch sein berühmtes, seinen Namen tragendes Gesetz die ganze Kette der bis dahin bekannten Erscheinungen schließt und sie durch ein gemeinsames Band vereinigt.

Frischen wir zunächst einige Schulerinnerungen auf. Eine geriebene Glasstange brachten wir in die Nähe eines außerordentlich leichten Körpers, einer Hollundermarkkugel oder eines Stückchen Goldschaum, an einem Seidenfaden hängend, und sahen, wie dieser Körper von der in elektrischen Spannungszustand versetzten Stange angezogen und nach einiger Zeit wieder abgestoßen ward. Es schien so, als ob von dem Glase gleichsam eine stoffliche Masse, eine hypothetische Flüssigkeit mitgeteilt und nach erfolgter Sättigung zurückgestoßen wurde. Genau die gleiche Erscheinung nehmen wir wahr, wenn eine Harz- oder Gummistange gerieben wird. Nähern wir aber zwei Hollundermarkkugeln, von denen die eine mit Glaselektrizität, die andere mit Harzelektrizität geladen ist, so sehen wir, daß sie lebhaft voneinander angezogen werden, während zwei solcher Kugeln, die mit gleichartiger Elektrizität geladen sind, entweder nur mit Glaselektrizität oder nur mit Harzelektrizität, sich gegenseitig abstoßen. Ähnliche Erscheinungen zeigen in verschiedener Stärke fast alle geriebenen Stoffe, so daß man sie in glaselektrische oder positive und in harzelektrische oder negative eingeteilt hat. Coulomb hat diese Erscheinung zuerst als das Überladen eines unsichtbaren, unwägbaren Stoffes, den er Elektrizität nannte, aufgefaßt und durch interessante Versuche gezeigt, daß die Kräfte, die bei der Anziehung oder Abstoßung wirken, proportional sind dem Produkt der Ladungen und umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung.

Digitized by Google

Außer dieser Elektrisierung durch direkte Berührung, die wir als Ladung bezeichnen, haben wir noch eine zweite Art. Wenn wir einen metallischen Körper einem geladenen Körper nähern, so erscheinen auf dem metallischen Körper zwei verschiedene Ladungen, und zwar an der Seite, welche dem mit Elektrizität begabten Körper genähert wird, die entgegengesetzte und die gleiche auf der abgewandten Seite. Man nennt diese Scheidung, dieses gleichzeitige Auftreten von ungleichnamigen, lediglich durch Näherung erzeugten Elektrizitäten Influenz.

Entsprechende Erscheinungen zeigen nun die Pole jeder beliebigen Elektrizitätsquelle, sei es eine Dynamomaschine oder eine Batterie. Es herrscht immer Ungleichartigkeit zwischen den Ladungen der beiden Pole und wir können auch hier das Naturgesetz aussprechen: Gleichartige Pole stoßen sich ab, ungleichartige ziehen sich an.

Ein Versuch soll dieses Gesetz uns vor Augen führen.

Auf einer weißen Fläche erscheinen als Schattenwirkung einer elektrischen Lampe die plattenförmigen Pole einer Akkumulatorenbatterie (Fig. 1, I). Zwischen ihnen hängt vollkommen frei ein dünnes Aluminiumblättchen, welches der anziehenden und abstoßenden Wirkung der Pole unterliegt. So lange das Blättchen genau in der Mitte zwischen den beiden Polen schwebt, nehmen wir keine Bewegung wahr. Verschieben wir aber den beweglichen Streifen etwas nach rechts oder links, so wird er angezogen von dem näher liegenden Pol. Nach einiger Zeit wird er abgestoßen und fliegt hinüber zum andern Pol. Dort wiederholt sich das gleiche Spiel und so sehen wir ein kontinuierliches Pendeln des Aluminiumblättchens. Durch Influenz wird der bewegliche Streifen elektrisiert und es muß, wenn links der positive Pol war und auf der zugewandten Seite des Streifens infolgedessen negative Elektrizität, die Anziehung nach links erfolgen. Bei Berührung teilt sich dem Blättchen die Elektrizität des berührten Poles mit und es erfolgt intensive Abstoßung. Durch die lebendige Kraft, mit der das Blatt in der Mittellage ankommt, wird es veranlaßt, dieselbe zu überschreiten und fliegt weiter zum negativen Pol. Die fortdauernde Erscheinung können wir auffassen wie ein abwechselndes Hinüberwandern der Ladung des einen Poles zum andern.

Digitized by Google

Was lehrt uns dieses Experiment? Eigentlich nur wenig. Wir erfahren nichts von der geheimnisvollen Kraft, welche das freischwebende Metallblättchen mit unfehlbarer Sicherheit von einem Pol zum andern treibt. Wir könnten uns trösten mit dem Goetheschen Ausspruch über die ebenso geheimnisvolle magnetische Kraft:

Magnetes Geheimnis — Wer erklärt mir das?
Kein größer Geheimnis als Liebe und Haß!

Doch der forschende Geist beruhigt sich dabei nicht. Wo ihm das Wissen die Führung versagt, leitet ihn gern eine willigere Schwester — die Phantasie. Sie bevölkert ihm den Raum zwischen den Polen mit einem dichten Gewühl unsichtbarer Moleküle und überträgt die elektrische Kraft durch das zerrende Gedränge der wie zu einer Schaustellung versammelten Äthermassen. Wer je in einem dichten Menschengewühl gesteckt hat, weiß, welchen Pressungen und Zerrungen er dabei ausgesetzt ist. Willenlos wird man an Stellen getrieben, die weit abliegen von denen, welche man erreichen will. Man selber führt Pressungen aus auf Menschen und Körperteile, denen man am liebsten weit aus dem Wege ginge. Man denkt zu schieben und man wird geschoben.

Ähnlich stellt man sich das Gedränge der Äthermoleküle vor, wenn zwei mit entgegengesetzter Spannung begabte Körper sich gegenüberstehen. Durch diese Pressungen und Zerrungen des Äthers werden die Kräfte auf das bewegliche Aluminiumblättchen übertragen. Das ist die heutige Vorstellung der forschenden Physik. Den Techniker befriedigt sie nicht. Wir fordern nicht eine Erklärung der Erscheinung, wir haben nur mit ihren Wirkungen zu tun. Diese wollen wir aber beherrschen und dazu müssen wir in der Lage sein, sie zu messen.

Es liegt nahe, die geschilderte und beobachtete Kraftwirkung dazu heranzuziehen. Man hat Instrumente gebaut, um die elektrischen Spannungen durch Gewichte zu messen, nach dem Prinzip der Hebelwage oder der Neigungswage, der bekannten Briefwage, wie wir sie täglich benutzen, um den materiellen Inhalt unserer Briefe, leider nicht auch ihren geistigen, zu kontrollieren.

Digitized by Google

Bei den praktischen Messungen haben wir es nun niemals mit einer Spannung zu tun, sondern immer mit zweien. Alle Erscheinungen der Elektrizität zeigen einen interessanten Dualismus, eine einzelne Elektrizitätsart besteht niemals für sich allein. Selbst wenn wir einen Körper mit einer solchen etwa positiven laden würden, so erscheint durch Influenzwirkung sofort auch die negative auf den benachbarten Gegenständen oder den Wänden des Zimmers. Wir haben also immer mit der Anwesenheit von zwei Ladungen verschiedener Spannung zu rechnen. Man kann sie vergleichen mit einem Unter- und einem Überdruck.

Sind zwei Körper vorhanden, von denen wir den einen als elektropositiv, den andern elektronegativ geladen bezeichnen, so ist auf dem positiven eine elektrische Überspannung, auf dem negativen eine elektrische Unterspannung. Ein Analogon bietet ein U-förmig gebogenes offenes Glasrohr, das zum Teil mit Wasser gefüllt ist. Wenn wir durch Luftverdünnung in dem einen Schenkel den Wasserspiegel heben, so senkt er sich in dem andern, in dem ersteren haben wir dann einen Überdruck, in dem anderen einen Unterdruck der Wassersäule. Gestatten wir einen Ausgleich der Spannungen, dann fällt die Wassersäule in dem Schenkel, wo sie höher stand, sie steigt im anderen und es bildet sich ein mittleres gleiches Niveau in beiden.

Ebenso haben die Pole einer Elektrizitätsquelle elektrischen Überdruck bzw. Unterdruck. Verbinden wir den einen Pol mit einer festen Platte, den anderen mit einer über der ersten aufgehängten beweglichen, so können wir durch Gewichtbelastung eines Wagebalkens die Anziehungskraft messen (Fig. 4, II). Dies gibt uns zugleich ein Maß für die elektrische Spannung zwischen den beiden Polen oder deutlicher ausgedrückt, für ihre elektrische Spannungsdifferenz. Ein solches Meßgerät heißt ein Elektrometer.

Nun handelt es sich darum, eine Einheit der Spannung festzustellen. Über ihre Größe können wir offenbar ganz beliebig verfügen. Die Technik benutzt als Einheit diejenige, welche zwischen den Polen eines galvanischen Elementes von bestimmter Zusammensetzung besteht, wie sie Volta zuerst angegeben hat und nennt sie zu Ehren des italienischen Entdeckers ein Volt.

Digitized by Google

Wir können also mit einem geeichten Elektrometer die Spannungen in Volt messen, wenn wir wissen, welche Belastung aufzulegen ist, wenn die Spannungsdifferenz beispielsweise 10000 Volt beträgt oder unter welchem Winkel der Zeiger der Neigungswage ausschlägt, wenn diese Spannungsdifferenz vorhanden ist. Den Versuch mit dem Aluminiumblättchen haben wir angestellt mit einer Spannungsdifferenz von 100 Volt. Die Kräfte, welche hierbei auftraten, waren überaus winzig, einem leisen Windhauch vergleichbar.

Stärkere Spannungen können wir durch andere Mittel erzeugen; ich verwende dazu eine 50pferdige Dynamomaschine. Ein mit Metall bedeckter Tisch und 2 m darüber frei in der Luft an Schnüren hängend eine Metallkugel bilden die Pole der Maschine. Zwischen ihnen entsteht ein Raum, der von den Strahlen der elektrischen Spannungskraft durchflutet wird. Unser Leben würde in Gefahr kommen, wollten wir uns der Kugel nähern, sobald die elektrische Spannung sie erfüllt. Durch eine sinnreiche Einrichtung ist sie aber gefahrlos gemacht. Bei dem ersten Versuch behielt jeder Pol seine ihm eigentümliche Spannung unverändert bei. Hier lassen wir sie wechseln, indem wir ihre Rollen unaufhörlich vertauschen, in einer Sekunde etwa hunderttausendmal. Der Wechsel vollzieht sich so schnell, daß jede einzelne Spannung ihre Wirkung nicht bis in das Innere des menschlichen Körpers tragen und seinen Organismus gefährden kann; sie verbleibt auf der Haut und kann diese nur oberflächlich verletzen. Allerdings werden die Muskeln in Mitleidenschaft gezogen und heftig kontrahiert, eine minutenlange Berührung hat mir einst eine wochenlange schmerzhafte Muskelentzündung am Arme eingetragen. Die Spannung ist hier allerdings beträchtlich gesteigert, das angeschlossene Elektrometer zeigt 3 Millionen Volt. Ein leises Zischen ist alles, was uns im Tageslicht das Vorhandensein dieser hohen Spannung verrät. Verdunkeln wir aber den Saal, so sehen wir von den Zuleitungsdrähten und der Kugel bläuliche Lichtstrahlen ausgehen, es ist das St. Elms-Feuer, das bei starken elektrischen Ladungen durch die Atmosphäre von den Mastspitzen der Schiffe ausstrahlt und den wetterfestesten Seemann früher mit Furcht und Grauen erfüllte.

Digitized by Google

Nähern wir die Kugel der Tischplatte, so tritt ihre elektrische Spannung deutlicher in die Erscheinung: wir sehen meterlange Blitze überspringen, indem die Spannungen sich ausgleichen, wobei sie sich einen Weg durch die Luft bahnen — wie Gewaltmenschen, die mit heftigem Stoß ein Menschengewühl durchbrechen und rücksichtslos niedertreten, was sich ihnen in den Weg stellt. Die leuchtende Spur ihrer Zerstörung zeigt uns der blitzartige Funken. Aber nur manchmal erreichen sie ihr Ziel, viele erlahmen auf dem Zerstörungswege, sie gleichen züngelnden Flammen (Fig. 3, I).

Ein elektrischer Blitz ist desto greller und leuchtender, je größere Elektrizitätsmengen an dem Ausgleich beteiligt sind. Bei den bisherigen Versuchen waren es nur geringe Quantitäten; schalten wir aber einen Ansammlungsapparat dazwischen in Form einer Leydener Flasche, so können wir die Quantitäten künstlich steigern. Wir ersetzen dabei die Luftschicht zwischen den Polen durch einen Stoff, der dem Ausgleich einen größeren Widerstand entgegensetzt, am besten eignet sich Glas, so daß die Elektrizitäten sich ansammeln können. Die Erfindung stammt nicht aus Leyden, sie gelang vielmehr im Anfang des 18. Jahrhunderts einem Mitgliede der Familie von Kleist, der als jüngerer Sohn im Genuß einer Domherrnpräbende in dem weltabgeschiedenen Cammin sich mit elektrischen Studien sein stilles Dasein verschönte. Eines Tages experimentierte er mit einer halb mit Wasser gefüllten gläsernen Arzneiflasche, in welche er einen langen eisernen Nagel gesteckt hatte. Diesen berührte er mit dem Konduktor seiner Elektrisiermaschine, während er mit der einen Hand das Fläschchen umspannt hielt. Dadurch schaltete er zwischen seine Hand und den Nagel die ansammelnde Eigenschaft des Glases und empfing, als er zufällig den Nagel mit der anderen Hand berührte, einen starken elektrischen Schlag (Fig. 2, I). Durch brieflichen Austausch mit Leydener Freunden gelangte diese Erkenntnis an den damaligen Zentralpunkt naturwissenschaftlicher Forschung und strahlte von dort weiter aus.

Eine große Reihe von solchen Glasflaschen haben wir jetzt zwischen die Pole geschaltet — das ohrenbetäubende Geknatter zahlloser Gewehrsalven mit dem fast unerträglichen grellen Licht-

Digitized by Google

schein breiter Blitzspuren, die über den Glasrand hinweg den Ausgleich suchen, belehrt uns, daß nun auch die Luft in starke Mitleidenschaft gezogen ist. Wir haben tatsächlich ein Miniaturgewitter mit Blitz und Donner erzeugt (Fig. 9, IV).

Denn die Gewitter, welche die Natur uns zeigt, sind auf die gleichen Ursachen zurückzuführen. Die mit elektrischer Überspannung erfüllte, von der Decke des Saales herabhängende Kugel ist einer drohenden Gewitterwolke vergleichbar, der mit Metall belegte Tisch stellt ein Stück der Erdoberfläche dar mit elektrischem Unterdruck. Als eigentlichen Sitz der elektrischen Energie haben wir aber nicht diese Körper zu betrachten, sondern vielmehr den Luftraum, den sie umgrenzen. In diesem ist der elektrische Spannungszustand zu suchen, der die Äthermassen oder das unbekannte Etwas, das sonst den Raum neben der Luft erfüllt, in so gewaltige Zerrungen und Pressungen versetzt, daß wir ihn mit einem ungeheueren Dampfkessel vergleichen können, der bei Überschreitung der Bruchfestigkeit des Materials mit donnerndem Knall explodiert. Während aber bei diesem der entlastende Ausgleich sich durch die gesamte Masse des Dampfes vollzieht, der nach allen Richtungen expandiert, erfolgt der Ausgleich der elektrischen Spannungen in begrenzten engeren Bahnen, in denen die elektrische Energie sich in Wärme verwandelt, wobei sie den Luftkanal mit unnennbaren Temperaturen in die grellste Weißglut versetzt.

Aber wie bei der Explosion eines Dampfkessels weithin geschleuderte Eisenfetzen Verderben und Zerstörung durch den Raum verbreiten, so gehen auch von der Blitzspur Fernwirkungen aus, die nicht bloß wie der Donner durch forteilende Lufterschütterungen zustande kommen, sondern elektrischer Natur sind. Außerhalb eines Hauses niedergehende Blitzschläge lassen die elektrischen Glühlampen in demselben momentan aufleuchten, und an den Telephon- und Klingelleitungen hören wir nicht selten knisternde Geräusche, die den Übergang von kleinen Fünkchen zwischen den Leitungen begleiten. Selbstverständlich bieten diese winzigen Äußerungen nicht die geringste Gefahr, sie zeigen uns aber deutlich die Verbreitung der elektrischen Kräfte durch den Raum.

Digitized by Google

Auch die in der Luft schwebenden feinsten Staubteilchen und Nebelbläschen werden dadurch in Mitleidenschaft gezogen. Die erfrischende Reinheit der Luft, die wir nach jedem Gewitter wohltuend empfinden, ist nicht allein auf das Auswaschen der Atmosphäre durch den Regen oder vermehrte Ozonbildung zurückzuführen; es findet auch eine Verdichtung der kleinen materiellen Partikel statt, wodurch sie vom Regen leichter zur Erde geführt werden und die Luft gleichsam durchsichtiger werden lassen. Eine interessante Beobachtung in dieser Richtung konnte ich einst am Leuchtturm von la Hève machen. Nach einem schwülen Tage war die Luft über dem Meere außerordentlich unsichtig, der rotierende Strahlenkegel des Leuchtturms, der sonst mit scharf markierten Umrissen sich aus der Dunkelheit deutlich abhob, wenn er den Horizont bestrich, erschien wie ein unbestimmtes geisterhaft vorüberhuschendes Nebellicht. Da türmten sich Gewitterwolken über dem Meer und in der Ferne zuckte der erste Blitz. Mit einem Schlage war das Bild verändert — mit klaren Umrissen trat der leuchtende Strahlenkegel wieder in die Erscheinung.

Die verdichtende Kraft der elektrischen Spannung sollen uns einige einfache Laboratoriumsexperimente zeigen. Mit Hilfe einer an die Wasserleitung angeschlossenen engen Düse erzeugen wir eine Fontäne; der dünne gepreßte Wasserstrahl zerstäubt beim Niedergang zu einem leichten feinen Schleier, der in dem darauf gerichteten hellen Lichtstrahl eines Scheinwerfers sich nur wie ein Nebel abhebt. Nähere ich aber der Fontäne ein schwaches elektrisches Spannungsfeld in Gestalt einer geriebenen Siegellackstange, so verdichten sich die Nebelbläschen zu größeren Wassertropfen, die in dem elektrischen Licht wie Sterne funkeln (Fig. 7a und 7b, III).

Es ist fast selbstverständlich, daß die sichtbare Wirkung, welche eine elektrisch gespannte Atmosphäre auf die in derselben schwimmenden kleinsten materiellen Teile ausübt, auch den Organismus belebter Wesen beeinflußt. Bei einigen experimentellen Studien, die mich wochenlang mehrere Stunden des Tages zu einem Aufenthalt in Hochspannungsfeldern zwangen, spürte ich

Digitized by Google

eine deutliche Abspannung meiner Nerven, aber nur in wohltuender Weise, denn ich habe niemals besser geschlafen als in jener Zeit. Anders äußerten sich die Wirkungen bei meinem damaligen Gehilfen, er klagte über Magenbeschwerden und Schlaflosigkeit. Bei reichlichem Milchgenuß verschwanden indes diese Störungen. Es ist auch keine Einbildung, wenn manche Menschen das Herannahen des Gewitters deutlich empfinden wollen; die sogenannte Schwüle der Atmosphäre, welche uns in einen bedrückenden Zwangszustand versetzt, ist sicherlich auf elektrische Einflüsse zurückzuführen, und wir sprechen nicht unberechtigt von der befreienden Kraft des Gewitters —

Noch eben Donnergerolle
In flammender Wolkenschlacht —
Und nun die zaubervolle
Tiefe Stille der Nacht.

Die Angst vor dem Einschlagen des Blitzes und den Donnerworten, in denen der Schöpfer dabei zu uns spricht, ist dagegen unberechtigt, wenn wir uns in einem ausreichend geschützten Raume befinden.

Was ist ein ausreichender Blitzschutz? Die Anschauungen darüber haben sich in den letzten Jahrzehnten wesentlich geändert. Die hochragenden Blitzableiter mit ihren vergoldeten oder Platinspitzen haben in den Augen der Sachverständigen längst ihren Wert verloren. Als Werner v. Siemens einst gefragt wurde, warum er seine Villa in der gewitterreichen Gegend von Harzburg nicht durch Blitzableiter geschützt habe, antwortete er lakonisch: Ich werde mich hüten.

Und in der Tat, ein Versuch wird uns zeigen, daß die hochragenden Teile der Gebäude am meisten dem Blitzschlag ausgesetzt sind. Die an der Decke hängende Kugel stellt eine mit Hochspannung geladene Wolke dar, der Metalltisch hier unten, mit einer Blechplatte im Grundwasser des Parkes verbunden, einen Teil der Erdoberfläche. Wir setzen Blechmodelle von hochragenden Türmen mit und ohne Blitzableiter und von niedrigen Gebäuden darauf. Sie sehen, der Blitz wählt ausnahmslos den kürzesten Weg zum Metall und damit zur Erde (Fig. 8, IV und 10, V).

Digitized by Google

Ob das Gebäude an seiner höchsten Stelle mit einem Blitzableiter versehen ist oder nicht, bleibt völlig bedeutungslos. Franklin ließ sich bei seiner Erfindung von der Anschauung leiten, daß die Entladung aus Spitzen leichter und allmählicher vor sich geht, wie etwa bei dem St. Elms-Feuer, und darum einen zur Blitzentladung führenden plötzlichen Ausgleich verhütet. Gegenüber den gewaltigen Energiemengen einer Wolkenladung spielt die Spitzenwirkung nur eine untergeordnete Rolle. Ein unter übermäßigem Druck stehender Dampfkessel bleibt vor der Explosion nicht bewahrt, wenn auch aus einem feinen Riß vorher etwas Spritzwasser austritt.

Wäre der Blitz nun unter allen Umständen und immer nur ein einmaliger Ausgleich der Ladungen, so würde der Blitzableiter zwar einen häufigeren Blitzschlag verursachen, denselben aber ohne Schädigung des Gebäudes zur Erde führen. Neuere Forschungen haben aber gezeigt, daß die meisten Gewitterblitze ebenso einen oszillierenden Entladungscharakter tragen wie die Funken, mit denen die drahtlose Telegraphie arbeitet. Blitzphotographien mit schnell bewegter Kamera lassen deutlich mehrfache aufeinanderfolgende Entladungen erkennen. Es sind Entladungsströme wechselnder Richtung, die mit hoher Frequenz aufeinanderfolgen, wobei sie in ihrer Stärke allmählich abnehmen. Die Gesetze, welche die gedämpften Wechselströme befolgen, beherrschen somit auch den gewaltigsten elektrischen Naturvorgang. Es sind überaus schnelle Pulsationen, um die es sich dabei handelt und die Eigenart ihres Verhaltens ist abweichend von den Gesetzen, welche Ströme gleichbleibender Richtung befolgen. Sie schaffen sich selber Hindernisse und Widerstände auf ihrem Wege, die nicht bloß wie beim Gleichstrom von der Natur der durchlaufenen Bahn, sondern von der Geschwindigkeit ihres Wechsels abhängen. Man nennt sie Selbstinduktions- oder induktive Widerstände.

Aus einigen Experimenten werden wir ihre Natur erkennen. Führen wir einen Gleichstrom durch einen Kupferdraht, so werden wir die Wirkung als eine geringe Erwärmung des Drahtes verspüren, wir stellen uns dabei vor, daß der Draht dem Durchgang des Stromes nur einen geringen Widerstand entgegensetzt. Führen

Digitized by Google

wir denselben Strom durch den Kohlenbügel einer Glühlampe, so steigert sich die Wärmewirkung bis zur Lichtentfaltung; wir schließen daraus, daß der Widerstand, durch welchen die elektrische Entladung, denn als solche haben wir den Strom aufzufassen, sich gleichsam hindurchzuzwängen hat, mehrere tausendmal größer ist. Verbinden wir nun die beiden Widerstände mit ihren Endpunkten, indem wir eine Schleife, eine Verzweigung bilden, und wenden wir an den Verbindungspunkten die gleiche elektrische Spannung an wie vorher, so bleibt der Kohlefaden völlig dunkel. Der größte Teil des Entladungsstromes wählt den Weg durch den geringeren Widerstand des Kupferdrahtes und nur ein winziger Bruchteil des früheren Stromes zwängt sich durch den größeren Widerstand des Kohlefadens. Der Strom bevorzugt also den Weg des geringeren Widerstandes, der einzig und allein von der Natur des Weges, hier aus Kupfer, dort aus Kohle bestehend, bedingt ist (Fig. 5, II).

Nun wollen wir denselben Versuch mit Hochfrequenzstrom anstellen, wir verwenden dabei einen Strom, der viele tausendmal in der Sekunde seine Richtung wechselt. Wir sehen nunmehr die Lampe hell aufleuchten. Der Kupferdraht bietet also jetzt einen größeren (induktiven) Widerstand dar als der dünne Kohlefaden. Mit der Steigerung der Frequenz würde der Widerstand noch weiter zunehmen. Ersetzen wir dagegen den Kupferdraht durch ein breites Kupferband, so nimmt das Leuchten des Kohlefadens ab, ein Beweis dafür, daß für den induktiven Widerstand des Kupfers weniger der metallische Querschnitt, als vielmehr die Oberfläche maßgebend ist. Und in der Tat lehren uns auch zahlreiche andere Erscheinungen, daß die elektrischen Gleichströme zwar den gesamten Querschnitt eines Drahtes erfüllen, daß aber die Hochfrequenzentladung lediglich die Oberfläche desselben benutzt und kaum $^1/_{100}$ mm tief in den Querschnitt eindringt. Ein Rohr von dünnster Blechstärke bietet keinen größeren Widerstand als ein massiver Barren von gleichem Material und gleichem Durchmesser.

Wollen wir also für die Blitzableitung eines Hauses einen tunlichst geringen Widerstand schaffen, so dürfen wir keinen einfachen Draht verwenden, sondern möglichst viele breite Bänder

Digitized by Google

und Metallrohre. Am besten benutzt man die bereits vorhandenen metallischen Bekleidungen, die Zinkbedeckungen am First und an den Dachkanten des Giebels, die Dachtraufen, Gossen und Abflußröhren, indem man diese Teile miteinander in gute metallische Verbindung bringt. Hierdurch erzeugen wir eine großflächige Ableitung zur Erde, die tausendmal sicherer das Haus beschützt als der beste übliche Blitzableiter. Die statistischen Aufzeichnungen der Feuerversicherungsgesellschaften zeigen, daß die Blitzgefahr in Deutschland besonders für das flache Land von Jahr zu Jahr zunimmt. Viele Millionen werden dem Nationalvermögen jährlich durch Brandschäden entzogen, und die zwangsweise Auflage von kostspieligen Blitzableitern, die man in einzelnen besonders gefährdeten Gegenden fordert, belastet den kleinen Bauer in ganz ungebührlicher Weise. Darum fort mit allen Blitzableitern, die unter Umständen ein Haus erst recht gefährden! Denn die Fälle sind nicht selten, wo die Blitzableitung einen großen induktiven Widerstand besitzt, den eine Messung mit Gleichstrom gar nicht erkennen läßt, und der Blitz durch Überspringen auf andere Metallmassen oder Leitungen im Hause sich selber einen bequemeren Weg zur Erde sucht.

Lehrreich in dieser Beziehung ist ein Blitzschlag in ein Pulvermagazin bei Spandau, der sich vor einigen Jahren ereignete. Das Gebäude war mit Blitzableitern versehen und ihr Widerstand durch Messungen mit Gleichstrom alljährlich nach Vorschrift kontrolliert. Der Blitz fuhr in eine Auffangestange an der Ecke des Gebäudes, verließ dieselbe aber, indem er übersprang auf die gefüllten eisernen Pulverbehälter, die im Hause aufgeschichtet lagen. Er durcheilte die ganze Reihe und fuhr an der gegenüberliegenden Ecke in ein Abflußrohr. Der gefährliche Spaziergang endete völlig harmlos. Um so grauenvoller war die Verheerung durch die Explosion eines Pulvermagazins bei Marseille, die durch einen Blitzschlag verursacht wurde.

Ungefährlich sind dagegen stets Blitzschläge in die großen Gasbehälter der Städte; die aus Eisenblech genieteten schwimmenden Glocken derselben bilden an sich schon die idealste großflächige Ableitung zur Erde. Vor kurzem hatte ich einen Fall zu entscheiden, wo die Aufsichtsbehörde für einen neu erbauten Gasometer mit

Digitized by Google

Nachdruck die Anbringung eines Blitzableiters verlangte. Leider habe ich das ungläubige Kopfschütteln über die Entscheidung der obersten Instanz nicht genießen können. Überaus langsam nur dringt neue Naturerkenntnis in die träge Masse eines großen Verwaltungskörpers, langsamer noch in die breiten Schichten des Volkes. Hier blüht noch heute der krasseste Aberglaube, und nicht bloß in den Alpenländern, wo man die Kirchenglocken läutet, um den Blitz zu verjagen — fulgura frango!

Doch die zweckmäßigsten Ableitungsvorrichtungen würden für den Blitzschutz versagen, wenn man nicht die ebenso wichtige Erdverbindung nach richtigen Grundsätzen gestaltete. Früher betrachtete man die Erde als eine große leitende Kugel, die an allen Stellen vollkommen gleiche und konstante elektrische Spannung besitzt, an der Oberfläche umkleidet mit weniger gut leitenden Massen. Drang man bis in die leitenden Schichten vor, so glaubte man dort eine völlig gleichartig unter Spannung stehende Schale zu finden, von so ungeheurer zusammenhängender Oberfläche, daß die dort angehäufte Elektrizitätsmenge ihre Spannung nicht ändern könnte, wenn ein weiterer Zugang von außen dazutrat oder etwas nach der Atmosphäre hin abfloß.

Die Gesetze der schwingenden Elektrizität, welche man seitdem kennen gelernt hat, treffen nicht bloß auf leitende Drähte, sondern ebenso auch auf große leitende Oberflächen zu. Eine an irgendeiner Stelle zugeführte Elektrizitätsmenge breitet sich auch auf diesen mit allen Kennzeichen der Wellenbewegung aus, so daß wir in den leitenden Schichten der Erde ähnliche Spannungswellen voraussetzen dürfen wie auf einer sturmgepeitschten Meeresfläche. Die Schichten von geringerer Leitfähigkeit, welche sie bedecken, vermehren nur noch die gewaltigen Spannungsschwankungen.

Die Ladung, welche ein einschlagender Blitz der Erde zuführt, wird nun um so leichter aufgenommen und verschwindet um so unschädlicher, je größere Aufnahmefähigkeit oder Kapazität an der Einschlagstelle in Form von gut leitenden Massen in der Erde vorhanden ist. Auf den Grundwasserspiegel allein darf man sich hier nicht verlassen, derselbe ist starken Schwankungen unterworfen und nicht immer mit Sicherheit zu erreichen. Auch die Einbettung von quadratmetergroßen Metallplatten in feuchtes Erdreich bietet

Digitized by Google

gegenüber den durch den Blitz zugeführten gewaltigen elektrischen Ladungen kein hinreichendes Schutzmittel, wie zahlreiche Blitzschläge gelehrt haben.

Ideale Verhältnisse bietet in dieser Beziehung das gutleitende Salzwasser des Meeres, unterstützt durch die gewaltigen eisernen Massen der Schiffskörper.

Einen jahrzehntelangen erbitterten Kampf haben die Elektrotechniker mit den Stadtverwaltungen geführt, weil diese den Anschluß der Gebäudeblitzableiter an die vorhandenen Gas- und Wasserleitungen nicht zuließen. Man bestand mit Hartnäckigkeit auf der Anordnung unzuverlässiger besonderer Erdplatten, während das ausgedehnte unterirdische Metallnetz der städtischen Leitungen dem gegenüber einen absolut sicheren Schutz verhieß. Heute ist der Widerstand gebrochen, in einigen Städten wird jetzt sogar der Anschluß an die Wasserleitung von der städtischen Behörde gefordert. Feinde des Fortschritts sind heut nur noch die Fabrikanten von Blitzableitern, welche nach „alten bewährten" Rezepten ihre kostspieligen Konstruktionen anpreisen und in weiten Kreisen als die eigentlichen Sachverständigen angesehen werden.

Hoffentlich ist die Zeit nicht fern, wo die hochragenden Auffangstangen von unseren Gebäuden verschwinden und der Baumeister allein durch zweckmäßige Ausbildung und Verbindung der Metallteile an Dächern und Fassaden einen unauffälligen Metallkäfig gestaltet, in dessen Schutz das Gebäude und seine Bewohner sicherer vor Blitzschaden bewahrt sind als „Dorchläuchting" vermeintlich in seinem Glaskäfig nach den mißverstandenen Belehrungen seines „Konrekters".

Digitized by Google

2.

In den Fluten der Strömung.

Das 18. Jahrhundert kannte von den Äußerungen der Elektrizität nur ihre Spannung, die man durch Reibung verschiedener Stoffe hervorrief. Am Anfang des Jahres 1800 lief bei dem Präsidenten der Royal Society, der englischen Akademie der Wissenschaften, das Schreiben eines Italieners namens Volta ein, das der Welt Kunde gab von der Entdeckung einer neuen bis dahin völlig unbekannten elektrischen Erscheinung. Es enthielt die Beschreibung der ersten elektrischen Batterie, aus welcher die elektrischen Kräfte wie aus einem sprudelnden Born in fast unerschöpflicher Fülle hervorquellen. Einem ruhigen Strome vergleichbar ergießen sie sich in das Rinnsal einer metallischen Leitung.

Mit wenigen Worten ist die große Entdeckung zu beschreiben. Stellt man in ein Gefäß, mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, zwei Platten aus verschiedenen Metallen, etwa Kupfer und Zink, gegenüber, so nehmen die Platten elektrische Spannung an mit einem Überdruck am Kupfer und einem Unterdruck am Zink.

Verbinde ich mit den beiden Polen dünne Drähte, schlinge den einen um eine Feile und fahre mit dem andern darüber hin, so zeigt uns ein lebhaftes Funkensprühen das Vorhandensein dieser Spannung (Fig. 13, VII). Dabei verspürt meine Hand eine Erwärmung des Drahtes. Vereinige ich beide zu dauernder metallischer Berührung, so erkennen wir bald eine gesteigerte Wärmewirkung an dem Rauchen der verkohlenden Umspinnung (Fig. 6, II). Es ist ein Ausgleich der elektrischen Spannungen, der sich dabei vollzieht und Wärme produziert auf Kosten eines chemischen Prozesses, denn wir nehmen wahr, daß das Zink sich auflöst, sich dabei mit Sauerstoff verbindet, also verbrannt wird.

Digitized by Google

Was spielt sich dabei im Innern des Drahtes ab? Wir wissen es nicht. Die Natur des elektrischen Stromes, denn so nennen wir den Vorgang, führt den Forscher an die Grenzen der Erkenntnis. Aber wo das Wissen versagt, leitet uns wiederum dichterische Phantasie: Wir denken an ein wirkliches Strömen der elektrischen Eigenschaft, ähnlich wie das Strömen einer Flüssigkeit durch ein enges Rohr. Wollen wir durch ein dünnes eisernes Rohr einen Wasserstrahl pressen, so brauchen wir dazu eine Druckdifferenz, an der Eintrittsstelle muß Überdruck, an der Austrittsstelle Unterdruck herrschen. Denken wir uns das Rohr nicht bloß von minimalem Querschnitt, sondern auch noch gefüllt mit zahllosen engmaschigen Sieben, so wird das eingepreßte Wasser sich durch gewaltige Reibung erwärmen. Keine Erklärung soll dies sein, sondern nur ein Mittel, unsere Unterhaltung zu erleichtern, denn der Verstand denkt gerne in Bildern.

Zur Messung der Stärke der Strömung ziehen wir wieder ihre wahrnehmbaren Wirkungen heran: Die Erwärmung des Drahtes könnte dazu dienen. Tauchen wir den stromführenden Draht in Wasser, so gibt uns die Erwärmung desselben innerhalb einer bestimmten Zeit, gemessen am Thermometer, ein Maß für die Stärke der Strömung. Auch indirekt könnten wir die Erwärmung messen. Nicht nur der Quecksilberfaden des Thermometers, sondern auch der stromführende Draht erfährt durch die Wärme eine Verlängerung. Bei den sogenannten Hitzdrahtinstrumenten ist dies benutzt. Man spannt einen dünnen Draht von hoher Schmelztemperatur aus und führt den zu messenden Strom hindurch (Fig. 12, VI). Die Durchbiegung infolge der Erwärmung mißt ein zweiter Draht, der in der Mitte des ersten befestigt, sich über eine Rolle schlingt und durch eine Spiralfeder gespannt wird. Der Zeiger der Rolle spielt über einer Skala, welche in der Abbildung herausgenommen und nach unten verlegt ist.

Zwanzig Jahre nach Volta entdeckte der Däne Oersted eine neue Äußerung des Stromes — die Ablenkung der Magnetnadel; bald darauf Arago die Kraftwirkung auf Eisen. In Fig. 11, VI ist ein Draht in vielen Windungen auf eine Rolle gewickelt, ähnlich einer Garnspule. Führen wir Strom durch den Draht, so übt die

Digitized by Google

Spule eine kräftige Wirkung auf einen darüberhängenden Eisenstab aus. Er hängt an einer Federwage. Bei Stromschluß schnellt der Zeiger auf 34,5 kg. Die Fig. 14, VII zeigt die Einrichtung eines darauf gegründeten Meßapparates unter Verwendung des Prinzips der Neigungswage.

Ich befreie den Eisenstab jetzt von der Feder und stelle ihn unter die Spule auf den Tisch. Der schwere Barren wird wie von unsichtbaren Händen in die Höhe gezogen und schwebt, gleichsam von der Schwerkraft befreit, frei in der Luft (Fig. 15, VII). Versetze ich ihm einen Stoß, so tanzt er auf und nieder und kommt erst nach mehrfachen Schwingungen zur Ruhe. Führe ich einen zweiten eisernen Barren von unten heran, so wird er meinen Händen entrissen und von dem oberen wie von einer Klaue gehalten (Fig. 16, VII). Starke Kräfte gehen von dem Eisenstab aus, ein Bündel eiserner Drähte zeigt uns ihre Richtung (Fig. 17, VII). Die Technik hat sich diese Wirkungen zunutze gemacht. Das Bild auf der weißen Fläche zeigt uns den Fanghaken eines modernen Krans, der nicht nur elektrisch betrieben wird, sondern auch das Transportstück selbst, eine eiserne Platte, mit magnetischer Klaue vampyrartig erfaßt (Fig. 18, VII).

Genauere Mittel zur Messung der Ströme bieten aber ihre chemischen Wirkungen; hier stellt sich uns ein außerordentlich feines Forschungsmittel zur Verfügung: Die chemische Wage.

Die scheidende Wirkung des elektrischen Stromes auf zusammengesetzte chemische Verbindungen wurde bald nach Volta bekannt. Schon Alexander von Humboldt studierte die Wasserzersetzung. Wenn wir eine Volta-Batterie als Stromquelle wählen und wie es üblich ist, den Kupferpol mit Überspannung durch einen längeren Strich, den Zinkpol (mit Unterspannung) durch einen kürzeren Strich bezeichnen, so zeigt die Fig. 19, VIII, wie wir den Strom durch eine chemisch zusammengesetzte Flüssigkeit leiten können. In das Glasgefäß, das sie enthält, sind zwei Platten gestellt, welche die chemische Flüssigkeit nicht angreift. Diese werden in die Leitung und damit eine flüssige Schicht in den Stromkreis geschaltet. Wählen wir zunächst Wasser, das durch einen Tropfen Säure leitend gemacht ist — reines Wasser dürfen wir nicht nehmen, da es dem Durchgang des Stromes ein zu großes

Digitized by Google

Hindernis bietet — und schließen wir den Stromkreis durch Verbindung mit den Polen der Stromquelle, so sehen wir an den Platten des Zersetzungsgefäßes Gasblasen aufsteigen. Es sind, wie die chemische Untersuchung ergibt, die Bestandteile des Wassers: Sauerstoff und Wasserstoff. Fängt man die Gase in einem gemeinschaftlichen Gefäße auf, so vereinigen sie sich wieder zu Wasser, sobald man einen elektrischen Funken hindurchschlagen läßt.

Völlig geklärt wurde die chemische Zersetzung erst, als Faraday das Studium derselben begann. Dies geschah im Jahre 1830 und von da ab datiert eine erstaunliche Fülle der interessantesten Forschungsergebnisse, die wir fast ohne Ausnahme Faraday verdanken und die den Grund legten zu der heutigen Blüte der elektrochemischen Industrie. Faraday war Lehrer an einem öffentlichen Institut Londons: der Royal Institution, etwa vergleichbar unserm Gewerbemuseum, nur mit ausgesprochen technisch-wissenschaftlicher Richtung. Mit reichen Privatmitteln wurde das Institut begründet und es gehört in England zum guten Ton, Mitglied dieser Gesellschaft zu sein.

Faraday legte seinen Studien das Strömungsprinzip der Elektrizität zugrunde. Welches war aber die Richtung der Strömung? Offenbar geht die Wirkung von beiden Polen zugleich aus und das Natürlichste wäre die Annahme zweier Strömungen. Das hätte die Betrachtung außerordentlich erschwert. Faraday führte deshalb nur eine Stromrichtung ein, und zwar einer naheliegenden Vorstellung entsprechend, von dem Pole des Überdrucks zum Unterdruck der elektrischen Quelle. Die Eintrittsstelle in die Zersetzungszelle nannte er Anode, die Austrittsstelle Kathode, beide zugleich die Elektroden des elektrolytischen Prozesses. Der durch Zersetzung entstandene Wasserstoff scheidet sich immer an der Kathode aus, wandert also in Richtung des Stromes. Ebenso die Metalle, welche aus einer Metallsalzlösung sich abscheiden. Führen wir uns den Prozeß an einigen Bildern vor Augen, belauschen wir gleichsam den interessanten Naturvorgang.

Zunächst die Wasserzersetzung. Vor der elektrischen Lampe steht ein Glasgefäß mit planparallelen Wänden. Auf dem weißen Projektionsschirm sehen wir die beiden Elektroden, die in der

Digitized by Google

Form von Platindrähten in das Wasser tauchen (Fig. 21,VIII). Lassen wir Strom eintreten, so bedecken sich beide mit Gasblasen, die sich ablösen und wie Perlen nach oben wirbeln — der Wasserstoff links, der Sauerstoff rechts. Der erste hat das doppelte Volumen des letzteren, ist an der Größe und Zahl der Perlen deshalb sofort zu erkennen.

Ein zweites Bild zeigt uns die Zersetzung einer Bleisalzlösung, des Bleizuckers (Fig. 20, VIII). Die Anode ist doppelt ausgebildet in Form von zwei Vertikalstreifen aus Blei, so daß der Strom von zwei Seiten auf die in der Mitte befindliche Kathode übertritt, gleichfalls aus Blei und in Form eines verästelten umgekehrten Baumes. Ein reizvolles Schauspiel entwickelt sich vor uneren Augen. In überaus zarten federartig gegliederten Teilchen schießt das ausgeschiedene Blei gleichsam aus den Ästen des Baumes hervor und belaubt ihn — wir schauen in das Geheimnis des Werdens. Schade, daß Sie an diesem Bilde — da es ein Schattenbild ist — den wundervollen Glanz der glitzernden Bleikristalle nicht wahrnehmen können.

Der nächste Prozeß zeigt die Abscheidung des Silbers, — eine elektrolytische Scheideanstalt —. Die Flüssigkeit ist eine Höllensteinlösung, die Kathode ein Silberstift. Aus ihm quillt das Silber gleichsam hervor und überschüttet den Boden mit einem Silberregen — ein verlockender Anblick (Fig. 22, VIII).

Gold kann man in gleicher Weise abscheiden, man hat nur ein Goldsalz in Lösung zu bringen. Darauf beruht die Goldgewinnung der Neuzeit: man löst die zerkleinerten Golderze in Cyankalium und scheidet auf elektrolytischem Wege das Gold daraus ab. Es ist dadurch möglich geworden, die Ausbeute selbst geringerer Erze günstig zu gestalten. In Südafrika und in Australien hat der elektrolytische Prozeß das frühere Waschverfahren bereits vollkommen verdrängt.

Faraday hat sich nun nicht bloß darauf beschränkt, eine Terminologie zu geben, er hat auch ein wichtiges Naturgesetz gefunden. Er führte den gleichen Strom durch eine Reihe von elektrolytischen Zellen, mit Lösungen verschiedener Metallsalze gefüllt. Wurde in der ersten Kupfer abgeschieden, und in der

Digitized by Google

zweiten Zelle Silber, dessen chemisches Äquivalentgewicht etwa dreimal größer ist, so fand sich nach einiger Zeit, daß auch dreimal soviel Silber als Kupfer entstanden war. Die in gleicher Zeit durch denselben elektrischen Strom niedergeschlagenen Metallgewichte verhalten sich immer wie ihre chemischen Äquivalentgewichte. Diese sind aber mit Hilfe der chemischen Wage auf das genaueste bestimmbar. Sucht man nun nach einem Einheitsmaß für den Strom, so wird man zweckmäßig ein Metall wählen, bei welchem die Messung möglichst genau geschehen kann. Das wäre ein Stoff mit hohem Äquivalentgewicht. Ein solcher ist das Silber. Man hat deshalb als Einheit festgesetzt diejenige Strömung, welche in 1 Sekunde rund 1 Milligramm Silber auf der Kathode niederschlägt und benannte sie nach dem großen französischen Forscher Ampère. Diese Einheit ist wie in andern Ländern auch in Deutschland durch Gesetz festgelegt. Es wurde vorbereitet von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt und die Einheit in übertriebener Verdeutschung ein Amper genannt. Die deutschen Elektrotechniker erhoben Widerspruch, da sie nicht einsahen, was das bayerische Flüßchen gleichen Namens damit zu tun hätte. Schließlich hat man im Reichstag einen Kompromiß geschlossen, uns das e zurückgegeben und der Reichsanstalt zuliebe den Akzent geopfert. Die offizielle Schreibart ist jetzt also: Ampere. Möchten doch alle Differenzen im Reichstag so friedlich geschlichtet werden.

Ein elektrischer Strom entsteht erst dann, wenn wir die Pole einer Batterie durch eine metallische Leitung verbinden. Unabhängig davon besteht die Spannungsdifferenz an den Polen, diese ist auch vorhanden, wenn wir die Leitung unterbrechen. Als Einheit der Spannung rechnen wir diejenige des Volta-Elementes und nennen sie ein Volt. Zwischen der Spannung und dem Strom besteht ein Zusammenhang, dessen Entdeckung ein Ruhmestitel der deutschen Forschung ist. Sie glückte dem Physiker Ohm, der in den dreißiger Jahren des 19. Jahrhunderts in Berlin als Lehrer an der Kriegsschule gewirkt hat. Den größten Teil seines Lebens hat er in Nürnberg und München verbracht, wo man ihm auch ein Denkmal errichtet hat. Unvergeßlich bleibt mir die Enthüllungsfeier, an der auch die elektrischen Kräfte der

Digitized by Google

Natur mit einem starken Gewitter teilnahmen, so daß die Blitze minutenlang die Bildsäule des Forschers umzuckten.

Das nach ihm benannte Gesetz werden wir am schnellsten verstehen, wenn wir den Versuch zu Hilfe nehmen. Ich habe hier (Fig. 23, IX) durch ein Volta-Element zwischen den Punkten *A* und *B* eine Spannungsdifferenz von 1 Volt erzeugt. Die Zuleitungsdrähte, welche besonders dick gewählt sind, können wir vernachlässigen und den Zickzackdraht *A B* als eigentliche Schließungsleitung betrachten. Das Amperemeter zeigt einen Strom von 1 Ampere. Jetzt will ich die Spannung verdoppeln durch Einschaltung eines zweiten Elementes (Fig. 24, IX), der Zeiger des Strommessers rückt auf 2 Ampere. 3 Volta-Elemente würden uns 3 Ampere liefern. Wir erkennen das Naturgesetz, daß die Ströme proportional den angewandten Spannungen sind.

Nun will ich die Schließungsleitung verändern. Verkürze ich den Zickzackdraht auf die halbe Länge, so entsteht mit 1 Volt Spannung ein Strom von 2 Ampere, ein Drittel der Länge liefert 3 Ampere (Fig. 25, IX). Wir schließen daraus, daß bei gleicher Spannung die Ströme umgekehrt proportional der eingeschalteten Drahtlänge sind.

Endlich will ich den Querschnitt des Schließungsdrahtes verändern. Ich verdoppele den Querschnitt, indem ich *A* und *B* noch durch einen zweiten Zickzackdraht von derselben Dicke verbinde (Fig. 26, IX); das ist dasselbe, als ob ich einen Draht von doppeltem Querschnitt eingeschaltet hätte. Das Amperemeter zeigt jetzt auch die doppelte Stromstärke: 2 Ampere; ein dreifacher Draht liefert 3 Ampere. Bei gleicher Spannung ist also die Stromstärke proportional dem Querschnitt der Leitung.

Diese drei Forschungsergebnisse bilden das Ohmsche Gesetz, von dem ein Monteur seinen Kollegen gegenüber einst behauptete, es umfasse die ganze Wissenschaft der Elektrotechnik. Er hatte nicht so Unrecht, denn der wesentliche Inhalt des Gesetzes besagt, daß der durch eine elektrische Spannung hervorgerufene Strom abhängig ist von der Natur und Art der Leitung. Die Versuche haben uns den Einfluß von Länge und Querschnitt gezeigt, weitere

Digitized by Google

Versuche würden ergeben, daß auch das Material des Drahtes eine Rolle spielt. Dies hat dazu geführt, jeder Leitung eine gewisse Eigenschaft zuzuschreiben, die man ihren elektrischen Widerstand nennt, und die sich beziffern läßt durch das Verhältnis von Spannung und Strom. Liefert eine Spannung von 1 Volt einen Strom von 1 Ampere wie in unserem ersten Versuch, so ist der Widerstand 1, und man nennt ihn dem Entdecker zu Ehren 1 Ohm. Es ist leicht, Drähte so zu bemessen, daß sie die Einheit oder das Mehrfache derselben besitzen.

Nun ist es auch nicht mehr schwer, den Einfluß des Materials zu erkennen und zu berücksichtigen. So finden wir, daß ein Eisendraht von bestimmter Dicke, der den Widerstand 1 Ohm besitzt, nur ein Sechstel so lang ist wie ein gleich dicker Draht aus Kupfer. Der spezifische Widerstand des Eisens ist also sechsmal größer als der des Kupfers. Diese traurige Tatsache verteuert unsere Leitungen und liefert uns in die Hände des amerikanischen Kupferringes, weil unsere heimische Kupferproduktion nur gering ist.

Ich habe hier eine Kette aufhängen lassen, welche aus einer Reihe von Gliedern zusammengesetzt ist, die alle aus Drahtstücken von gleicher Länge und gleichem Querschnitt bestehen (Fig. 27, X). Die Stücke sind aber abwechselnd aus Eisen und Kupfer hergestellt. Wenn wir nun durch die gesamte Kette einen Strom führen, so wird dieser in den Eisendrähten einen sechsmal größeren Widerstand finden. Je größer aber der Widerstand, desto größer ist auch die Erwärmung an dieser Stelle. Wir werden die Eisenglieder infolgedessen bereits erglühen sehen, während die Kupferglieder noch dunkel sind.

Wenn es sich darum handelt, das Ohm als jederzeit reproduzierbares Etalon darzustellen, dann muß man sich über das zu wählende Material einigen. Früher zog man zur Herstellung der Einheit das Kupfer heran. Da stellte es sich heraus, daß die verschiedenen Kupfersorten mit ihren unvermeidlichen Verunreinigungen doch zu verschiedene Werte ergaben; dasselbe war beim Eisen der Fall. Da kam Werner v. Siemens in der Mitte der sechziger Jahre auf den glücklichen Gedanken, ein Material zu wählen, welches man jederzeit mit leichter Mühe in chemischer Reinheit herstellen

Digitized by Google

kann. Das ist das Quecksilber, durch Destillation können wir es von allen Verunreinigungen befreien. Da das Quecksilber flüssig ist, muß man es in eine Röhre von nicht leitendem Material einschließen. Das sind Arbeiten, die einer außerordentlichen Präzision bedürfen und von der Physikalisch-technischen Reichsanstalt ausgeführt werden. Dort hat man gefunden, daß 1 Ohm durch einen Quecksilberfaden von 1 mm Querschnitt und 106,3 cm Länge repräsentiert wird.

Zur Reproduktion für technische Zwecke wählt man Kupfer- oder Neusilberdraht, den man auf Rollen wickelt, welche die Einheit oder das Vielfache davon darstellen. Sie werden in sogenannten Widerstandssätzen vereinigt. Hier ist ein solcher Kasten (Fig. 28, X). Auf dem Deckel sehen wir breite Messingschienen, die an verschiedenen Stellen durch eine konische Bohrung unterbrochen sind, in welche man gut schließende Metallstöpsel einstecken kann. Unter jeder Bohrung befindet sich ein Draht auf Holzrollen gewickelt, dessen Länge einem bestimmten Widerstand entspricht. Die Enden des Drahtes sind mit den aufeinanderfolgenden Messingschienen verbunden. So lange ein Stöpsel in der Bohrung sitzt, geht ein in das dicke Messingband eintretender Strom durch den geringen Widerstand des Stöpsels und vermeidet den größeren Widerstand durch die Rolle. Entfernt man aber den Stöpsel, so hat der Strom nur einen Weg, nämlich den durch den Rollenwiderstand. Die Sätze sind nach dem Dekadenprinzip eingerichtet, so daß man schnell jeden beliebigen Widerstand herstellen kann.

Für technische Betriebe hat man die Widerstände auch so eingerichtet, daß sie durch eine Kurbel reguliert werden können (Fig. 29, X). Der Widerstandsdraht ist in Form von Spiralen mehrfach auf- und niedergeführt; auf einer Platte sind eine Reihe von Kontakten im Kreise angeordnet, die mit den Enden der einzelnen Spiralen in Verbindung stehen. Sie werden von einer Kurbel bestrichen, so daß ein Strom, der in die Kurbel eintritt, erst an dem berührten Kontakt in den Widerstand eintritt und am letzten Kontaktpunkt denselben verläßt.

Wir haben bis jetzt eine dreifache Abhängigkeit des Widerstandes kennen gelernt: von der Länge, vom Querschnitt und vom

Digitized by Google

Material. Dazu tritt nun eine vierte Abhängigkeit — von der Temperatur. Ein Versuch soll es zeigen. Ich halte hier einen Neusilberdraht in Form einer Spirale. Schicke ich Strom hindurch, so erwärmt er sich (Fig. 30, X). Zugleich zeigt das eingeschaltete Amperemeter ein langsames Zurückgehen, ein Zeichen, daß der Widerstand zunimmt, denn die angewandte Spannung hat sich nicht verändert. Jetzt tauche ich die Spirale in Wasser und kühle sie. Sie bemerken, daß das Meßinstrument einen steigenden Strom anzeigt, daß der Widerstand sich also durch die Kühlung vermindert.

Hiermit ist bewiesen, daß der Widerstand des Neusilbers wie aller Metalle sich mit steigender Erwärmung vergrößert. Andere Stoffe, z. B. die Kohle und alle Flüssigkeiten verhalten sich umgekehrt, sie verringern den Widerstand mit der Erwärmung.

Auch die Gase zeigen einen mit der Temperatur abnehmenden Widerstand. Von Einfluß ist hier ferner der Gasdruck. Man hat früher die Gase für Nichtleiter der Elektrizität gehalten. Diesen Standpunkt müssen wir aufgeben, nachdem wir gesehen haben, daß der Spannungsausgleich durch Funken, die auch nur den Übertritt eines Stromes bedeuten, selbst in der Luft möglich gewesen.

Ein merkwürdiges Experiment, das man erst seit einigen Jahren kennt, wird uns zeigen, daß hoch erhitzter Wasserstoff die stärksten Ströme hindurchläßt. Zur Erklärung des Experiments diene zunächst ein Versuch in kleinerem Maßstabe. In dem vor Ihnen stehen den Gefäß (Fig. 31, XIII) soll eine elektrolytische Wasserzersetzung vorgenommen werden, aber mit anderen Elektroden als vorhin. Als Anode habe ich eine verhältnismäßig große Platte aus Platin gewählt, als Kathode dagegen einen feinen Platindraht, so daß eine große Verschiedenheit in den Oberflächen der Elektroden besteht.

Lassen wir zunächst einen geringen Strom eintreten, so nehmen wir noch nichts Ungewöhnliches wahr: an dem Draht treten die Wasserstoffbläschen auf, die in lebhaftem Wirbel entweichen. Verstärke ich jetzt den Strom, so wird die Entwicklung so stürmisch, daß die Gasblasen nicht mehr schnell genug entweichen können, sie umhüllen den Draht mit einer gasigen Schicht. Das hat eine interessante Folge. Solange der Platindraht noch mit dem Wasser in Berührung stand, hatte der Strom nur geringen Widerstand zu

Digitized by Google

überwinden, jetzt tritt ihm das Hindernis der Gasschicht entgegen. Er zwängt sich auch durch diese hindurch, aber die gewaltige Arbeit produziert eine intensive Wärme, die Temperatur steigt schnell so hoch, daß die ganze Wasserstoffatmosphäre zu einem glühenden Ofen wird, in dem sogar das schwer zu schmelzende Platin wie Butter zerfließt und damit den Prozeß unterbricht. Beachtenswert ist die plötzliche Widerstandszunahme sobald die Gasschicht entsteht, denn Sie nehmen an dem eingeschalteten Amperemeter ein starkes Abfallen des Stromes wahr.

Der kurze Überblick hat uns das mannigfache Wirken des elektrischen Stromes gezeigt: von dem leisen Hauch, der die winzige Magnetnadel richtet, bis zum Lasten tragenden Kran, von der Zertrümmerung des fest gefügten Baues chemischer Moleküle bis zu den Gluten des feurigen Ofens, in denen das Eisen zerschmilzt. — Alles sind Wirkungen derselben Kraft, welche der Menschengeist in geregelte Bahnen zu lenken und zu nützlicher Arbeit zu leiten verstanden hat. Mit dichterischer Gestaltungskraft haben wir die Fluten eines geheimnisvollen Stromes belebt und einen natürlichen Zusammenhang zu begreifen vermeint. Doch wollen wir uns nicht täuschen; es sind eigentlich nur Wahnvorstellungen, welche die allzubereite Phantasie uns vorgegaukelt, und in bezug auf das wirkliche Verständnis sind wir schließlich kaum besser daran als jenes Bäuerlein, dem ein Aufklärungsapostel den elektrischen Telegraphen erläutert und selbstbewußt am Ende fragt: „Das habt Ihr doch wohl verstanden?“ Das Bäuerlein aber nickt treuherzig und sagt: „Ja alles, nur eines nicht — wie kommen die Depeschen über die Porzellanknöpfe weg?“

Digitized by Google

3.

Wärme und Licht, die elektrischen Geschwister.

Zu den interessantesten dichterischen Vorahnungen großer Naturgesetze, welchen wir in den Meisterwerken der Weltliteratur aller Zeiten begegnen, gehört jene merkwürdige Stelle in Goethes Faust, wo der Dichter den grübelnden Verstand sich abmühen läßt an der Übersetzung des gedankenreichsten Evangeliums, des Evangeliums Johannis. Von der beschränkten Fassung: „im Anfang war das Wort", erhebt sich die Erkenntnis zu der höheren Deutung: „im Anfang war die Kraft", um endlich volle Befriedigung zu finden in dem befreienden Gedanken: „im Anfang war die Tat".

Sagen wir dafür, um in der Sprache der Mechanik zu reden, „im Anfang war die wirkende Kraft", dann haben wir den Inhalt jenes großen Naturgesetzes vor uns, dessen Erkenntnis den Stolz des vorigen Jahrhunderts ausmacht, des Gesetzes von der Wandlung oder, wie man auch zu sagen pflegt, von der Erhaltung der Energie.

In den Naturerscheinungen, die uns umgeben, sehen wir heute nicht mehr wie früher bloß den trostlosen Gegensatz zwischen Blühen und Welken, den in sich abgeschlossenen Wechsel zwischen Werden und Vergehen, sondern wir erkennen in den wirkenden Naturkräften heute einen lebensvollen, unermüdlichen Wandel, einen ununterbrochenen Übergang in neue, ebenso wertvolle und wichtige Erscheinungsformen. Die wärmespendende Kraft der Sonne läßt nicht nur Fluren ergrünen und Wälder erstehen, die uns nähren und schirmen, sondern sie trägt auch unablässig die Wassermengen aus Flüssen und Meeren auf den felsigen Hang der Gebirge und läßt sie niederrinnen als belebende und kraftspendende Flut.

Digitized by Google

Nicht tote Kraft ist es, die den Wechsel schafft: erst die Fähigkeit zu wirken, verleiht ihr den Wert. Ein gehobenes Gewicht, dem die Möglichkeit genommen ist, sich von seiner Stelle zu bewegen, kann noch keinen Nutzen bringen, erst wenn die Menschenhand ihm eine Bahn bereitet, kann das Gewicht nützliche Arbeit verrichten. Die Schwere der Körper hat zuerst die Anregung gegeben, die Arbeitsfähigkeit oder Energie, wie man sie auch mit einem Fremdwort bezeichnet, zu einem bestimmten Begriff zu verdichten. Man führte als Einheit der Energie diejenige Arbeit ein, welche die Gewichtseinheit 1 kg leistet, wenn sie durch eine Niveaudifferenz von 1 m fällt. Diese Einheit nennt man das Meterkilogramm. Sie gewinnt desto größeren Wert, je häufiger sie in einer bestimmten Zeit in Erscheinung tritt. Ein neuer Begriff bildet sich deshalb, wenn wir die Zeit beachten. Fällt 1 kg durch 1 m in 1 Sekunde, so ist dies ein bestimmtes Maß für diesen Begriff, das man als Einheit des Effektes oder der Leistung bezeichnet und 1 Sekundenmeterkilogramm nennt. Die Technik rechnet bekanntlich mit einer größeren Einheit: 75 Sekundenmeterkilogramm nennt sie eine Pferdestärke.

Aber nicht nur in der abgeschlossenen Wirkung einer Kraft erkennen wir Energie, auch in der Bewegung erscheint sie. Betrachten wir eine Dampfmaschine. Die Expansivkraft des Dampfes treibt den Kolben der Maschine bei jedem Hub auf genau bemessenem Wege, und wir können die Arbeitsleistung, welche einem Hube entspricht, beziffern, wenn wir den Dampfdruck mit dem Wege des Kolbens multiplizieren. Wir haben also ein bestimmtes Maß für diese Arbeit in Meterkilogrammen. In anderer Form sehen wir dieselbe Energie an dem rotierenden Schwungrade. Dort erscheint sie in der Form der Bewegung und nach einer veralteten Bezeichnung nennt man sie „lebendige Kraft". Wir wissen, daß wir sie messen können aus der Masse des Rades und der Geschwindigkeit desselben. Wir können sie aber auch jederzeit ausdrücken in Meterkilogrammen bzw. den Effekt, die Arbeit für die Zeiteinheit, in Sekundenmeterkilogrammen.

Der bedeutsamste Schritt zur Entdeckung des Energiegesetzes geschah, als Robert Mayer in den vierziger Jahren zeigte, daß auch die Wärme weiter nichts ist als eine neue Form von Energie.

Digitized by Google

Wir können heute nicht mehr bezweifeln, daß die kleinsten Teilchen eines Körpers sich in einer unaufhörlichen schwingenden, zitternden oder oszillierenden Bewegung befinden. Die Stärke dieser Bewegung ist ein Maß für den Grad der Wärmeerscheinung, die wir wahrnehmen.

Robert Mayer war der erste, welcher nachwies, daß wir die Wärme selbst infolgedessen in mechanischem Maße ausdrücken können, in Meterkilogrammen, indem wir den Wert der lebendigen Kraft der kleinsten Teilchen bilden. Im gewöhnlichen Leben und vor dieser Erkenntnis war ein anderes Maß für die Wärme üblich. Man nahm eine beliebige Wirkung derselben, und zwar als nächstliegende diejenige, welche sie ausübt bei der Erwärmung einer Flüssigkeit, insbesondere des Wassers. Man nannte diejenige Wärme 1 (eine Kalorie), welche 1 kg Wasser um 1° C erwärmt. Mayer hat nun gezeigt, wie wir dieses Maß, das offenbar ganz willkürlich war, ersetzen können durch das viel sicherer und viel tiefer in die Erscheinung eindringende Maß in Meterkilogrammen; er war der erste, der den Zusammenhang beider Maße feststellte; er zeigte — und nach ihm ist es von vielen Forschern sichergestellt worden — daß rund 425 mkg identisch sind mit einer Kalorie. Wir können also jetzt eine Wärmemenge in zwei verschiedenen Maßsystemen angeben, entweder in Kalorien, das ist die alte Methode, oder nach der neueren Auffassung in Meterkilogrammen, in Arbeitseinheiten, d. i. also genau so, als ob wir eine Länge in verschiedenen Einheiten messen, etwa in Fuß und Meter.

Die Wärme wurde nun die Brücke zu der wichtigen Erkenntnis, daß auch die elektrischen Erscheinungen nichts anderes sind als neue Wandlungen der Energieform. Wir können ihre Stärke zurückführen entweder auf ein kalorisches Maß — Kalorien — oder auf das mechanische Maß — Meterkilogramm — und wenn wir die elektrische Erscheinung für die Zeiteinheit betrachten, können wir sie ausdrücken in mechanischen Effekteinheiten.

Am schnellsten wird uns das klar werden, wenn wir zunächst den Übergang in das kalorische Maß einer näheren Betrachtung unterziehen. Ein metallischer Draht, durch welchen ein elektrischer Strom fließt, erwärmt sich. Wir sehen also Wärmeenergie auftreten.

Digitized by Google

Man kann sogar die Frage erörtern, ob es nicht möglich wäre, die Stärke der elektrischen Erscheinung durch diese Wärme zu messen. Dies gelingt vollkommen. Nehmen wir eine ganze elektrische Quelle, wie sie hier vor uns steht, in der Form, welche man einen Akkumulator nennt. Ein solches Element besteht aus zwei verschiedenen Platten, welche in angesäuertes Wasser getaucht sind; man hat nur die Kupfer- und Zinkplatten des alten Voltaelementes ersetzt durch zwei Bleiplatten, von denen die eine metallische Oberfläche besitzt, die andere dagegen bedeckt ist mit einer Schicht einer Bleiverbindung, dem Bleisuperoxyd. Diese Platten werden auf elektrischem Wege präpariert. In dieser Gestalt, in der man den Akkumulator als geladen bezeichnet, ist er für uns nichts anderes als ein Voltaelement. Aber dieses Element hat eine größere Spannung an den Polen als das alte Voltaelement. Jenes besitzt nur 1 Volt, dieses dagegen rund 2 Volt Spannung. Wenn wir nun ein solches Element schließen, so wird eine Wärmeproduktion entstehen, und wir werden wahrnehmen, daß nach einer gewissen Zeit das Element sich erschöpft. Wenn wir es näher untersuchen, finden wir, daß die Bleisuperoxydschicht auf der einen Platte völlig verschwunden ist, und daß auch die andere Platte sich verändert hat. Dann ist das Element inaktiv geworden, es ist erschöpft.

Wir können uns nun die Aufgabe stellen, den gesamten Energiet oder Arbeitswert, den ein solches Element repräsentiert, zu messen. Wollte ich bloß den Leitungsdraht in ein Wasserkalorimeter tauchen und aus der Temperaturerhöhung und der Menge des erwärmten Wassers einen Rückschluß machen auf die Größe der hier entwickelten Wärme, dann würde ich einen Fehler begehen; es werden auch in den Zuleitungsdrähten Wärmeerscheinungen auftreten, diese müßten wir berücksichtigen, auch wenn wir sie vielleicht auf ein sehr geringes Maß reduzieren könnten, indem wir sehr dicke Zuleitungsdrähte wählten. Immerhin würde aber auch in diesen Wärme auftreten. Ebenso wird auch Wärme auftreten in der Batterie selber. Wir nehmen es daran wahr, daß sich die Flüssigkeit erwärmt. Nun, man könnte vielleicht den Grad der Erwärmung bestimmen und denselben bei dem Gesamtresultat berücksichtigen. Diese Messung wäre aber mit verschiedenen Fehlerquellen be-

Digitized by Google

haftet. Am einfachsten und sichersten würden wir zum Ziele gelangen, wenn wir die ganze Batterie mit dem Schließungskreis in ein Kalorimeter tauchen könnten, gefüllt mit einer Flüssigkeit, welche die Elektrizität nicht leitet, z. B. Öl. In einem solchen Ölkalorimeter könnten wir den ganzen Vorgang vor unseren Augen sich abspielen lassen und würden bis zur Erschöpfung des Elements die Gesamtwärme, welche dabei auftritt, messen können.

Wärme ist Energie; daraus folgt, daß also der gesamte elektrische Vorgang hier einen bestimmten Energiebetrag repräsentiert. Man hat solche Messungen ausgeführt. Es würde zu lange dauern, wollte ich den Versuch hier wiederholen. Ein Akkumulator von dieser Größe liefert bis zur vollen Erschöpfung 75 Kalorien Wärme; wir können also damit 75 l Wasser um 1° erwärmen oder 1 l Wasser um 75°. Wenn wir diese Wärme umsetzen wollten in mechanische Arbeit, wenn wir sie benutzen wollten, um Wasser in Dampf zu verwandeln und damit eine Dampfmaschine zu treiben, so könnten wir die 75 Kalorien umrechnen in das mechanische Maß der Arbeit, das wären $75 \times 425 = 32000$ mkg. Der Arbeitsvorrat, die Arbeitsfähigkeit, die dieses Element repräsentiert, würde also — abgesehen von Verlusten, die natürlich nicht zu vermeiden sind — genügen, um 32 Tonnen 1 m zu heben oder etwa 6 kg auf die Höhe des Montblanc zu tragen. So können wir also den Wert der elektrischen Prozesse in den uns üblichen und vertrauten Einheiten bestimmen.

Wir verdanken diese Erkenntnis nicht der Berufsgelehrsamkeit, sondern ein Mann aus dem praktischen Leben war es, seines Zeichens ein Brauereibesitzer in England, James Prescott Joule, der diesen Zusammenhang zuerst vollkommen klargelegt hat. Er hatte, wie es so oft in England der Fall, neben seiner Berufstätigkeit Zeit und Lust zu rein wissenschaftlichen Forschungen, und in sehr sorgfältigen Laboratoriumsarbeiten hat Joule den Zusammenhang ermittelt, welcher zwischen der produzierten Wärme und den Elementen des elektrischen Kreislaufs besteht, zwischen der Wärme, der Spannung, der Stromstärke und dem Widerstand. Er hat Drähte von genau abgemessenen Längen und Querschnitten in Wasserkalorimeter gebracht und die entstehende Wärme ermittelt, indem er gleichzeitig genaue Messungen der

Digitized by Google

Stromstärke und der Spannung vornahm. Seine Untersuchungen haben zu einem wichtigen und weittragenden Gesetze geführt, das man ihm zu Ehren das Joulesche Gesetz benannt hat.

Nach diesem Gesetze ist die Wärmeproduktion abhängig von dem Widerstand, in welchem der Strom arbeitet, und von der Stromstärke. Ich könnte diesen Versuch mit einem Wasserkalorimeter hier ausführen, doch ich habe kein Thermometer, welches die geringen Differenzen im Stande der Quecksilbersäule so weithin sichtbar zeigt, daß Sie es von Ihren Plätzen aus sehen könnten. Das Gesetz ist aber so wichtig und grundlegend, daß ich nicht genug Sorgfalt darauf verwenden kann, einen vollständigen Einblick in dasselbe zu verschaffen. Ich werde daher, um den Beweis experimentell zu führen, eine andere Art der kalorimetrischen Messung wählen, und statt eines Wasserkalorimeters ein Luftkalorimeter benutzen.

Ich habe hier vier Flaschen aufgestellt und bitte Sie, zunächst diese ersten beiden Flaschen zu betrachten (Fig. 32, XI). Sie haben einen ansehnlichen Rauminhalt und sind gegen die äußere Atmosphäre vollständig luftdicht abgeschlossen. In diesen mit Luft gefüllten Flaschen befinden sich dicke Drähte aus Neusilber. Die Drähte sind so bemessen, daß bei ganz gleichem Querschnitt in der ersten Flasche die Länge doppelt so groß ist als in der zweiten. Da die Materialien gleich sind, wird infolgedessen der elektrische Widerstand in der ersten Flasche doppelt so groß sein müssen wie der Widerstand in der zweiten Flasche. Wenn ich nun diese beiden Drähte, die mit dicken Anschlußdrähten aus Kupfer oben und unten herausgeführt sind, in einen Stromkreis schließe, so daß der elektrische Strom die beiden Widerstände in den beiden Flaschen hintereinander durchläuft, so ist klar, daß in beiden Flaschen dieselbe Stromstärke tätig sein muß. In einem geschlossenen Leiterkreise kann immer nur eine Stromstärke sein, wir haben keine Verzweigung. Die Wärme, die durch die Wirkung des Stromes in den Neusilberdrähten entsteht, wird den Inhalt der Flaschen erwärmen, und wir wissen aus der Physik, daß bei konstantem Druck — und der Druck ist konstant, denn die Gefäße sind geschlossen durch eine kleine Wassersäule, deren Höhen-

Digitized by Google

differenz wir vollständig außer acht lassen können — die Ausdehnung der Luft proportional der Erwärmung sein muß. Nun werden wir den Grad der Ausdehnung bzw. die Schnelligkeit derselben dadurch sichtbar machen, daß in diesen auf- und niedergeführten, doppelt gekrümmten Röhren eine kleine gefärbte Wassersäule sich verschiebt. Ich bitte Sie, die beiden Flaschen zu beobachten, Sie werden wahrnehmen, daß in der ersten Flasche die Flüssigkeitssäule genau doppelt so schnell steigt wie in der zweiten. Da beide von dem gleichen Strom durchflossen sind, so folgt daraus, daß die Wärmeproduktion in dem größeren Widerstand doppelt so groß sein muß als in dem einfachen. Wir erkennen daraus das Naturgesetz: Die Wärmeproduktion in einem Draht ist direkt proportional der Größe seines Widerstandes.

Der zweite Teil des Jouleschen Gesetzes bezieht sich auf den Einfluß der Stromstärke. Um auch diesen Teil klar zu machen, wollen wir die beiden weiteren Flaschen betrachten (Fig. 33, XI). Hier ist die Einrichtung insofern geändert, als die beiden Drähte, deren Längen sich wie 1 : 2 verhalten, nicht hintereinander in den Stromkreis geschaltet sind, sondern parallel. Der Strom der Batterie verzweigt sich also, ein Teil desselben geht durch diesen, der andere Teil durch jenen Widerstand, dann summieren sich wieder die beiden Zweigströme und fließen zur elektrischen Batterie zurück. Wir haben also eine Verzweigung, und die Widerstände in den beiden Zweigen verhalten sich genau wie 1 : 2. Bei einer solchen Verzweigung teilt sich die Stromstärke im umgekehrten Verhältnis der Widerstände, so daß in dem Zweigwiderstand, welcher doppelt so groß ist als der andere, nur die Hälfte des Stromes vorhanden ist wie in dem anderen Zweige. Wäre nun die Stromstärke auf die Wärmeproduktion ohne jeden Einfluß, dann müßte das erste Gesetz Anwendung finden; es müßte, dem doppelten Widerstande entsprechend, in der links stehenden Flasche die Wärmeproduktion doppelt so groß sein als in der anderen. Wir werden sehen, das trifft nicht zu. Es muß also noch eine andere Abhängigkeit vorhanden sein. Es ist die Abhängigkeit von der Stromstärke.

Nehmen wir zunächst an, die Wärmeproduktion sei, etwa ebenso wie beim Widerstande, einfach proportional der Strom-

Digitized by Google

stärke, — was müßten wir dann sehen? Dann würde in einer Flasche bei dem Widerstande 1 und der Stromstärke 2, in der anderen bei dem Widerstand 2 und der Stromstärke 1 die gleiche Wärme produziert werden. Es würde einerseits der geringere Widerstand in seiner Wirkung für die Wärmeproduktion ausgeglichen durch die größere Stromstärke und anderseits der größere Widerstand durch die geringere Stromstärke. Für diesen Fall müßten dann also die beiden Wassersäulen gleich schnell steigen. Auch das werden wir nicht sehen. Der Versuch zeigt vielmehr, daß gerade in der Flasche, wo der Widerstand nur halb so groß ist, die Wassersäule doppelt so schnell steigt wie in der anderen. Eine einfache Überlegung lehrt, daß dies nur möglich ist, wenn die Wärmeproduktion nicht einfach proportional der Stromstärke ist, sondern proportional dem Quadrate derselben, denn dann muß die doppelte Stromstärke hier einen vierfachen Einfluß ausüben.

Durch genaue Messungen hat man ganz einwandfrei festgestellt, daß tatsächlich die erzeugte Wärme proportional ist dem Quadrat der Stromstärke, daß also eine doppelte Stromstärke eine vierfache Wärmemenge erzeugt.

Das erläuterte Naturgesetz bietet uns nun die Möglichkeit, den Arbeitswert eines elektrischen Prozesses in kalorischem und in mechanischem Maße anzugeben und zugleich auch ein elektrisches Maß dafür zu gewinnen. Als Einheit des Effekts dient diejenige sekundliche Arbeit, welche mit 1 Volt Spannung einen Strom von 1 Ampere hervorruft, man nennt sie 1 Watt und weiß aus sorgfältigen Messungen, daß 1 Pferdestärke gleichbedeutend ist mit 736 Watt. Als größere Einheit verwendet man das Kilowatt, das rund $1^1/_3$ Pferdestärken repräsentiert. Die Größe und Leistungsfähigkeit der elektrischen Maschinen beziffert man in Kilowatt.

Wir wissen jetzt, daß unsere elektrischen Zentralen elektrische Energie erzeugen, in ausgedehnten Kabelnetzen verteilen und in die angeschlossenen Häuser leiten. Die Verwendung dieser Energie für Koch- und Heizzwecke hat erst in letzter Zeit einige Fortschritte gemacht.

Anders natürlich liegen die Verhältnisse, wenn es sich darum handelt, für technische Prozesse Wärme zu produzieren; dann wird

Digitized by Google

in den meisten Fällen die elektrische Produktion der Wärme zu kostspielig sein und die Rentabilität zweifelhaft machen. So hat man vorgeschlagen, die Eisenbahnzüge elektrisch zu heizen. Die einfachste Rechnung zeigt, daß dann die Lokomotive eine ganz ansehnliche Zentralstation werden müßte, um die erforderliche elektrische Energie produzieren zu können. Etwas anderes ist es, wenn man elektrische Bahnen hat, wo man Strom beliebig zuführen kann.

Viel günstiger stellen sich die Verhältnisse, wenn man Wasserkraft zur Verfügung hat. Sehr zahlreich sind solche Wasserkraftanlagen in der Schweiz, und ich kenne verschiedene Stellen, wo die Pferdestärke pro Stunde sehr billig abgegeben wird. Allerdings ist dies nur unter ganz besonders günstigen Umständen erreichbar. Daß die Finanzmänner ununterbrochen ihr Augenmerk auf diese Frage richten, beweist die große Bewegung, welche augenblicklich in Norwegen, Schweden und Finnland stattfindet. Dort ist man dabei, sich die Wasserfälle zu sichern, welche besonders in Finnland sehr günstig an der Küste gelegen sind, um Tausende von Pferdestärken zu erzeugen und mit Hilfe von elektrischer Energie chemische Prozesse auszuführen.

Für technische Zwecke hat man die elektrische Wärme bis jetzt nur vereinzelt in Gebrauch genommen. Man hat Heizplatten ausgebildet, indem man die Wärme einer Eisenplatte dadurch zuführt, daß ein feiner Draht aus Neusilber auf der Platte in Zickzackform befestigt ist, und zwar befestigt auf einer Emailleschicht, welche auf die Eisenplatte gebreitet wird. Das Ganze ist bedeckt mit einer zweiten Emailleschicht, so daß man den eigentlichen Draht, mit welchem die Platte erwärmt wird, nicht sieht (Fig. 34, XIII). Diese Platten haben sich gut bewährt. Die Anschlußpunkte, an denen sich die Leitungen befestigen lassen, sehen Sie draußen. Die Schwierigkeit ist, daß man eine Emaille wählen muß, die genau denselben Ausdehnungskoeffizienten für die Wärme hat wie der Leitungsdraht. Für Kochgeschirre verwendet man in neuester Zeit eine sehr interessante Konstruktion. Um nämlich einen Leiter von sehr hohem Widerstand zu erzeugen, der Oxydationseinflüssen nicht unterliegt und verhältnismäßig hohe Temperatur

Digitized by Google

verträgt, ist man gezwungen, zu den edlen Metallen zu greifen, und da ist man auf den Gedanken gekommen (Fig. 35, XII), die dünne Schicht einer eingebrannten Vergoldung zu benutzen.

Ehe wir von der Wärme Abschied nehmen, möchte ich kurz darauf hinweisen, daß man die Wärmewirkung benutzt hat, um die elektrischen Drähte vor einer unzulässigen Stromstärke zu sichern. Man fügt in die Leitungen Schmelzdrähte ein, welche bei einer verhältnismäßig niedrigen Temperatur abschmelzen. Am meisten Verwendung hat hierfür das Blei gefunden. Ich habe hier zwischen Kupferstücken einen kleinen Bleistab befestigt (Fig. 36, XIII). Wir wollen einen langsam sich steigernden Strom hindurchschicken, Sie werden sehen, daß das Blei zum Schmelzen kommt und damit die Batterie ausschaltet.

Man darf aber nicht glauben, daß dadurch eine elektrische Leitung gegen Brandschaden völlig gesichert ist. Die Brände, welche bei Beleuchtungsanlagen auftreten, sind manchmal auf ganz andere Ursachen zurückzuführen, zumeist allerdings auf liederliche Arbeit.

Wir kommen nun zu der leuchtenden Schwester der Wärme. Ihre nahe Verwandtschaft zeigt uns folgendes Experiment. Ein langer Eisendraht ist quer durch den Saal gespannt; ich verbinde ihn mit einer starken elektrischen Quelle, einer Akkumulatorenbatterie, deren Strom ich durch einen Kurbelwiderstand reguliere. Das eingeschaltete Meßinstrument zeigt jetzt den Durchgang des Stromes: an dem Draht ist noch nichts zu bemerken, nur die aufsteigende Luftbewegung, an den Staubteilchen erkennbar, läßt auf seine Erwärmung schließen. Jetzt werden wir den Saal verdunkeln und allmählich den Strom verstärken, indem wir den abdrosselnden Kurbelwiderstand vermindern. Ein schwacher roter Schimmer geht jetzt von dem Drahte aus, der sich langsam verstärkt, sich zur Rotglut entwickelt und schließlich den ganzen Draht in Weißglut versetzt. Wie ein leuchtendes Band durchzieht er den Saal und taucht ihn in Helligkeit. Dies zeigt uns, daß wir in der Lichtstrahlung nur eine verstärkte Wärmestrahlung zu erkennen haben oder mit anderen Worten gleichfalls einen Energiewert, den wir in den gleichen Massen dereinst werden

Digitized by Google

messen lernen wie die Wärmewirkung. Leider sind wir zurzeit noch nicht so weit, denn das Lichtäquivalent ist nicht so leicht zu bestimmen wie das Wärmeäquivalent.

Die Technik hat den naheliegenden Weg beschritten und zunächst eine willkürliche Einheit festgesetzt. Als Maß der Lichtstärke dient ein Einheitslicht. Man hat dazu früher eine Kerze benutzt, die besonders sorgfältig hergestellt wurde, in England aus reinem Walrat, in Deutschland aus feinstem Paraffin oder Stearin. Es war nicht möglich, auch nur in Deutschland Einigkeit zu erzielen. Die Norddeutschen hatten eine andere Normalkerze als die Bayern und erst vor Jahren ist es gelungen, dies Reservatrecht zu beseitigen. Das heute geltende Normallicht in Deutschland ist keine Kerze, sondern eine kleine Lampe (Fig. 37, XV), die den Vorteil bietet, daß sie jederzeit reproduziert werden kann. Sie wird gefüllt mit einem brennbaren Stoff, der in jeder Drogenhandlung zu haben ist: Amylacetat, essigsaures Amyl, das einen wunderschönen Geruch nach Apfelsäure verbreitet. Der Docht von 10 mm Durchmesser wird so eingestellt, daß die Lampe mit 40 mm Flammenhöhe brennt, dann gibt sie ein schönes, etwas rötlich gefärbtes Licht. Die Lampe ist angegeben von v. Hefner-Alteneck. Man nennt sie deshalb Hefnerlicht oder Normalkerze. Leider hat diese Einheit noch keine internationale Gültigkeit. Als in Chicago diese Frage erörtert wurde und alle Staaten sich bereit erklärten, die Kerze anzunehmen, widerstrebte allein der Vertreter Englands unter dem Vorwande, er müsse sich erst Instruktion von seiner Regierung holen. Am nächsten Tage kam ein Telegramm: die englische Regierung hätte sich bereits schlüssig gemacht und die Pentanlampe gewählt; sie unterscheidet sich von der Amyllampe eigentlich nur dadurch, daß ein anderer Stoff, das Pentan, zum Brennen benutzt wird.

Das gefärbte Licht macht einen ganz verschiedenartigen Eindruck auf das menschliche Auge. Wir können nur annehmen, daß die Beanspruchung des Auges dabei eine andere ist. Sehr interessante Versuche hat nach dieser Richtung ein Amerikaner, Langley, angestellt. Er hat die Lichtwirkung bestimmt, welche bei Aufwendung gleicher Energiemenge erzeugt wird, und hat

Digitized by Google

gefunden, daß, wenn diese Energie in rote Strahlung verwandelt wird, und wir den Lichteindruck, den dieser auf das Auge hervorruft, mit 1 bezeichnen, dann die gelbe Strahlung mit derselben Energiemenge erzeugt, den Eindruck 28 000 hervorruft; in grüner Strahlung den Eindruck 100 000 und in violetter Strahlung 1600.

Rot	Gelb	Grün	Violett
1	28 000	100 000	1600

Das ist ein sehr wichtiges Resultat. Es zeigt, daß, wenn wir in ökonomischer Weise Licht erzeugen wollen, wir in erster Linie die grüne Strahlung zu bevorzugen haben. Am kostspieligsten ist das rote Licht, es erfordert den meisten Energieaufwand. Gelb ist schon besser, aber bei weitem am besten ist das Grün. Langley hat ferner gezeigt, daß die Beanspruchung des Auges eine ganz verschiedene ist, am stärksten bei rotem, am schwächsten bei grünem Licht. Hieraus wird uns klar, weshalb das grüne Licht für uns so wohltuend ist und das Auge so gern auf grünen Matten weilt.

Die Fortschritte im Beleuchtungswesen sind zumeist darauf zurückzuführen, daß man Flammen mit immer höheren Temperaturen und größerem Reichtum an grünen Strahlen verwendet hat. Dies konnte nur geschehen, indem man die glühenden Kohlepartikelchen, die in der Gasflamme ebenso wie in der elektrischen Glühlampe das Leuchten hervorrufen, durch Körper ersetzte, welche höhere Temperaturen vertragen. Ein solcher Stoff ist z. B. Magnesia, eine Verbindung von Magnesium und Sauerstoff. Schon vor mehr als 20 Jahren versuchte ein Schwede, Fahnejhelm, solches Licht zu erzeugen, indem er kleine Stäbchen von Magnesia in eine entleuchtete Bunsenflamme von hoher Temperatur hängte. Den größten Fortschritt verdanken wir Auer v. Welsbach; er ersetzte die Magnesia durch andere Stoffe, die sogenannten seltenen Erden Thorium und Cerium, mit deren Salzen er die bekannten Strümpfe tränkt, die in der Flamme des Bunsenbrenners zu hoher Temperatur erhitzt werden. Es ist bekannt, daß die Lichtausbeute der Gasflamme dadurch auf das Fünffache gesteigert wird. Nun ist aber die Strahlung der Auerstrümpfe eine intensiv grüne. Das hat viele Menschen gestört, und man hat die grüne Farbe wieder künstlich zu beseitigen versucht. Von unserem Standpunkt aus

Digitized by Google

müssen wir sie empfehlen, sie ist nicht nur ökonomisch, sondern auch hygienisch.

Wenn es sich darum handelt, festzustellen, welches Licht das menschliche Auge bedarf, um deutlich lesen und zeichnen zu können, so kommt die Flächenhelligkeit in Betracht. Die Physiologen haben festgestellt, daß, wenn das Auge nicht überanstrengt werden soll, eine Flächenhelligkeit von 10 Meterkerzen vorhanden sein muß. Die Meterkerze ist das Einheitsmaß für die Flächenhelligkeit, es ist diejenige, welche entsteht, wenn eine Normalkerze 1 m von der Fläche entfernt ist. Zehn solcher Meterkerzen reichen also aus. Festbeleuchtungen verlangen eine bei weitem größere Helligkeit; man geht bis zu 50 und 60 Meterkerzen.

Das Sonnenlicht erzeugt im Juli bei klarem Himmel in der Mittagsstunde eine Flächenhelligkeit von 300 000 Meterkerzen. Noch größer ist allerdings die Helligkeit bei den Scheinwerfern. Ein solcher, der mit 50 Ampere arbeitet, erzeugt in einem Meter Entfernung eine Flächenhelligkeit von 6 000 000 Meterkerzen. Diese außerordentliche Intensität rührt daher, daß die sonst nach allen Seiten in den Raum entweichenden Strahlen konzentriert, in einem Bündel vereinigt und so auf die Fläche geworfen werden.

Nachdem durch das Auerlicht ein so intensiver Fortschritt in der Gasbeleuchtung erzielt war, kam die elektrische Beleuchtung etwas ins Hintertreffen, aber sie hat das, was beim Gaslicht zum Ziele führte, sich nutzbar gemacht und eine Steigerung der Leuchtkraft der Glühlampen bewirkt, die nun wieder der elektrischen Beleuchtung einen kleinen Vorsprung zu geben berufen sein dürfte.

Betrachten wir zunächst das gewöhnliche Glühlicht, wie wir es seit 1879 in Gebrauch haben, so wird dabei bekanntlich durch den elektrischen Strom ein Kohlefaden zum Glühen gebracht. Edison war der erste, der in praktischer Weise solche Lampen herstellte, und 1879 wurde der Dampfer „Columbia" zum ersten Male mit seinen Lampen erleuchtet.

Die Lebensdauer einer Glühlampe ist eine beschränkte. Wir dürfen dieselbe nicht mit einer zu starken Spannung beanspruchen, d. h. den Faden nicht auf eine zu hohe Temperatur bringen.

Digitized by Google

Ich habe hier eine Glühlampe, welche mit steigender Spannung beansprucht werden soll. Wir wollen sie zunächst zum normalen Glühen bringen. — Die Spannung beträgt jetzt etwa 60 Volt, der Strom, der hindurchgeht, etwa $3^1/_2$ Ampere. — Nun wollen wir die Spannung steigern (Fig. 38, XV). Sie werden sehen, daß wir dadurch die Temperatur des Fadens erhöhen, die Wärmeproduktion steigt, und die Lichtemission wird eine intensivere. Wir wollen dies weiter treiben. Jetzt ist die Spannung gestiegen auf etwa 85 Volt. Die Lichtemission nimmt ununterbrochen noch zu bis zu einer fast unerträglichen Helligkeit. Sie sehen aber, die Lebensdauer der Lampe hat darunter gelitten, denn jetzt zerbricht der Faden!

Also wir sind in der Beanspruchung unserer Glühlampen durchaus nicht unabhängig von den Eigenschaften des Fadens. Wenn wir unseren Lampen eine Lebensdauer von 800 bis 1000 Brennstunden erteilen wollen, dürfen wir eine Kohlefadenlampe von 16 Normalkerzen nicht höher beanspruchen als mit 0,5 Ampere bei einer Spannung von 100 Volt. Die Gesamtenergie, in elektrischen Einheiten gemessen, wird dann in dem leuchtenden Faden 50 Watt. Soll also eine ausreichende Lebensdauer der Lampe gewährleistet sein, so dürfen wir sie nur beanspruchen mit 50 Watt, das macht für die Normalkerze rund 3 Watt.

Will man die elektrische Glühlichtbeleuchtung ökonomischer gestalten, so muß man die Temperatur des leuchtenden Fadens steigern. Wie kann man das machen? Die Kohle hält nur eine gewisse Temperatur aus — wenig über 1300° —, da verflüchtigt sie sich schon und schlägt sich in Form eines dichten Kohlespiegels auf dem Glase nieder, sie schwärzt die Lampe, und die Leuchtkraft geht manchmal herunter bis auf 30 Prozent. Solche Lampen sah man häufig, man ersetzte sie nicht gleich durch andere, weil man die Kosten der Neuanschaffung scheute.

Will man also höhere Lichtintensitäten erzeugen, bei geringerem Energieverbrauch, dann muß man die Temperatur des Fadens steigern. Da die Kohle dies nicht erlaubt, muß man zu anderen Stoffen übergehen. Nun ist in neuerer Zeit ein erheblicher Fortschritt dadurch erzielt worden, daß man die Magnesia, die schon

Digitized by Google

Fahnejhelm zur Lichterzeugung benutzte, auch auf die Glühlampen verwandte.

Diesen Weg hat Prof. Nernst vorgeschlagen. Er hat an Stelle der Kohlefäden Stäbchen aus Magnesia genommen und in den Stromkreis eingeschaltet. Die Magnesia aber ist ein Körper, welcher bei gewöhnlicher Temperatur so gut wie gar nicht leitet; er wird erst zu einem Leiter bei höherer Temperatur. Bei seinen Lampen ist es daher nötig, den Magnesiastift durch eine künstliche Wärmequelle zunächst auf höhere Temperatur zu bringen. Dies geschieht durch einen Metalldraht, der um den Magnesiastift geschlungen, zunächst durch den elektrischen Strom erwärmt wird, dadurch wird der Magnesiastift auf die erforderliche Temperatur gebracht.

An dieser Lampe können wir nun Messungen vornehmen. Sie brennt mit 120 Volt und verbraucht 0,4 Ampere, das sind also rund 50 Watt. Sie gibt dabei ein Licht von 25 Normalkerzen, verbraucht somit pro Normalkerze 2 Watt, die Lichtausbeute ist also etwas größer als bei der Kohlenglühlampe.

Man ist bei der Herstellung von Lampen mit höherer Ökonomie nicht beschränkt auf Magnesia, man kann auch andere Körper nehmen, die sonst Nichtleiter sind, wenn es nur gelingt, sie durch Temperaturerhöhung zu Leitern zu machen. In den sogenannten Metalldrahtlampen verwendet man neuerdings Drähte aus schwer schmelzbaren Metallen wie Osmium, Tantal, Wolfram und andere (Fig. 39, XIV). Diese stoßunempfindlichen modernen Glühlampen haben heute ihre Vorläufer, die Metallfadenlampen und ganz besonders die Kohlefadenlampen völlig verdrängt.

Bei dem elektrischen Bogenlicht findet die Erzeugung des Lichts in anderer Weise statt.

Denken wir uns den elektrischen Strom durch einen Kohlefaden hindurchgeführt und diesen plötzlich gebrochen. Im ersten Augenblick noch herrscht an der Bruchstelle eine so hohe Temperatur, daß die Kohle verbrennt. Es treten Gase auf, die bei hoher Temperatur leitend sind, und der Strom kann von dem einen Kohlenstückchen hinübergehen zu dem anderen. Es bildet sich das Phänomen des elektrischen Lichtbogens.

Digitized by Google

Davy war der erste — 1804 —, der einen solchen Lichtbogen mit einer größeren Voltabatterie erzeugte. Er nannte die Erscheinung einen Lichtbogen (Fig. 40, XIV). Warum? Bei dem ersten Versuch benutzte Davy horizontale Kohlenstäbe, die Flamme krümmte sich im Luftzug nach oben, und es bildete sich ein sichelförmiger Bogen. Bei der heutigen vertikalen Anordnung der Kohlenstäbe kann das gar nicht eintreten. Der Name ist aber geblieben.

Wir wollen uns jetzt einen solchen Bogen auf die Leinwand projizieren (Fig. 41, XV). Der Strom tritt über von der oberen Kohle der positiven, zur unteren negativen. Wir sehen, daß dabei die obere Kohle eine andere Form annimmt, als die untere. Sie höhlt sich aus und bildet einen Krater, während die negative Kohle eine geringe Zuspitzung erfährt. Der für die Lichtemission hauptsächlich in Betracht kommende Teil ist der Krater bzw. dessen Ränder und die oberste Spitze der unteren Kohle. In diesem Kohlenbogen herrscht eine außerordentlich hohe Temperatur. Man hat Temperaturen bis 3500° gemessen, und alle unsere Metalle, Platin sogar, schmelzen darin mit größter Leichtigkeit. Das ist ein Platindraht, den ich hineinhalte; Sie sehen, er schmilzt wie Butter an der Sonne.

Davy benutzte Holzkohle, jetzt stellt man die Kohlen auf künstlichem Wege dar. Um das Licht möglichst zu zentralisieren, hat man die obere Kohle mit einem weicheren Kern versehen, das sind die sogenannten Dochtkohlen. Die untere Kohle ist dagegen vollständig homogen. Solche Lichtbögen brennen ruhiger, ökonomischer und nehmen je nach den Salzen, die den Dochten beigemischt sind, verschiedene Färbung an.

Es ist möglich, solche Lichtbögen auch mit anderen Materialien zu erzeugen, wir sind nicht an die Kohle gebunden. Diese Lampe zeigt die Erzeugung eines Lichts mit Eisenstäben. Das Licht hat eine bläuliche Färbung. Statt des Eisens können wir auch Silberstifte verwenden. Sie nehmen ein schönes, grünlich gefärbtes Licht wahr.

Die Kohlen brennen ab, und wenn die Lampe nicht zu große Dimensionen annehmen soll, müssen die Kohlen nach 6 bis 8 Stunden

Digitized by Google

erneuert werden. Für viele Zwecke ist dies sehr hinderlich, z. B. bei Flußbeleuchtungen, oder wenn die Lampen sehr hoch hängen.

Die Bogenlampen haben den Glühlampen gegenüber einen empfindlichen Nachteil. Sie bedürfen einer Wartung wegen des Abbrandes der Kohlen. Man hat bei den Jandus-Lampen zwar versucht, die Brenndauer zu verlängern, indem man den Bogen unter Luftabschluß brennen läßt, schließlich muß aber eine Auswechslung doch stattfinden. Dazu kommt der Nachschub der Kohlen während des Brennens, und zwar verzehrt sich die positive doppelt so schnell, wie die negative. Dieser Nachschub geschieht entweder nur einseitig, indem man eine Kohle verstellt, oder es werden beide Kohlen reguliert. Das sind die Lampen mit fixem Brennpunkt. Wenn es sich um einzelne große Lichter handelt, wie bei den Scheinwerfern, dann pflegt man die Regulierung mit der Hand auszuführen. Bei den gewöhnlichen Lampen aber überträgt man den Nachschub der Kohlen einem automatisch wirkenden Regulierungsmechanismus.

Wenden wir uns einer Betrachtung der Lichtverteilung der Bogenlampen zu. Man macht die obere positive Kohle wegen des schnelleren Abbrandes gewöhnlich etwas stärker und versieht sie mit einem sogenannten Docht aus weicherer Kohle, damit der Stromübergang zwischen den beiden Kohlen tunlichst zentralisiert wird. Tut man dies nicht, so erhält man einen Lichtbogen, der leicht am äußeren Rande der Kohlen im Kreise herumwandert und bewirkt, daß die Lampe nach verschiedenen Richtungen verschieden starkes Licht aussendet. Die hauptsächlich an der Lichtemission beteiligten Elemente sind in erster Linie der Krater der positiven Kohle und zweitens die Spitze der negativen Kohle. Daraus folgt, daß das Licht, welches eine solche Bogenlampe nach verschiedenen Richtungen aussendet, ungleich sein muß. Wenn wir durch photometrische Versuche die Lichtintensität in der Horizontalen bestimmen, so erhalten wir eine Lichtstärke, welche durch eine verhältnismäßig kleine Strecke *O H* in Fig. 42, XV wiedergegeben ist. Wenn wir die Leuchtkraft nun unter verschiedenen Winkeln gegen die Horizontale bestimmen, so erhalten wir größere Lichtstärken, welche bei 40° etwa das Maximum erreichen. Für größere

Digitized by Google

Winkel fällt die Lichtstärke wieder. Für eine Bodenbeleuchtung ist dieser Umstand günstig. Bei einem Bogenlicht von 10 Ampere beträgt die maximale Lichtintensität, gemessen unter dem günstigsten Winkel, etwa 1000 bis 1200 Normalkerzen, bei einem Bogenlicht mit 15 Ampere steigert sich diese Leuchtkraft bis auf 2000 Normalkerzen.

Will man eine indirekte Beleuchtung ausführen, wie z. B. in diesem Saal, so kehrt man die beiden Kohlen um und wirft den gesamten Lichtschein gegen eine weiße Decke. Von dieser wird dann ein sehr schönes gleichmäßiges diffuses Licht ausgesandt, welches das Tageslicht zu ersetzen geeignet ist. Natürlich kostet eine solche Beleuchtung viel mehr Kraft als die direkte. Wollten wir diesen Saal mit direkter Beleuchtung erhellen, so würden zwei von diesen sechs Bogenlampen vollkommen ausreichen.

Wie soll man nun die Lichtstärke einer Bogenlampe angeben? Die horizontale Lichtintensität, die Leuchtkraft, gemessen unter dem günstigsten Winkel, oder eine mittlere? — das letztere geschieht am häufigsten. Man verwandelt die eiförmige Fläche (Fig. 42, XV) in einen Halbkreis und nennt den Radius die mittlere hemisphärische Intensität. Früher verwandelte man die Fläche in einen Kreis. Da Bogenlampen fast ausschließlich für eine einseitige Lichtwirkung gebraucht werden, so hat die Angabe der sphärischen Leuchtkraft eigentlich keinen Sinn. Es ist darum richtiger, daß man dazu übergegangen ist, die hemisphärische als die eigentliche Leuchtkraft der Lampe zu bezeichnen.

Der Käufer einer Bogenlampe muß natürlich wissen, welche Leuchtkraft gemeint ist. Das kann unter Umständen zu recht ärgerlichen Differenzen führen. Hier in Berlin wurde eine solche Angelegenheit einmal zu einer cause célèbre. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft machte der Stadt Berlin den Antrag, die Linden elektrisch zu beleuchten. Die Stadt ging darauf ein. In dem Kontrakt war ausdrücklich angegeben, es sollten Lampen von 2000 Normalkerzen Helligkeit Verwendung finden, und die Stadt zahlte dafür ein bestimmtes Pauschquantum. Mit der Einführung der elektrischen Beleuchtung waren damals die Gasinteressenten sehr unzufrieden; sie fürchteten die Konkurrenz des elektrischen

Digitized by Google

Lichts und versuchten Widerstand zu leisten. Sie konnten den Fortschritt zwar nicht aufhalten, machten sich aber das Vergnügen, als die Lindenlampen nun hingen, nachts, wo sie ungestört waren, zum Teil aus den Fenstern der Häuser photometrische Messungen anzustellen. Die Resultate wurden veröffentlicht und besagten, daß die Lindenlampen mit einer mittleren Intensität von etwa 500 Normalkerzen brannten. Darüber allgemeines Schütteln des Kopfes bei den Vätern der Stadt. In dem Kontrakt waren 2000 Normalkerzen garantiert! — Sachverständige wurden herbeigerufen. Die Messungen zeigten, daß die Lampen ohne Glocke unter dem günstigsten Winkel tatsächlich 2000 Normalkerzen lieferten, und im Kontrakt stand ausdrücklich: „Gemessen unter dem günstigsten Winkel." Das hatte man nicht verstanden. Die Leuchtkraft wird zudem stark verringert durch die Umhüllung mit Glocken. Die hierdurch hervorgerufene Schwächung des Lichts beträgt 30 bis 50 Prozent, je nach der Stärke und Färbung des Glases. Bei den Lampen unter den Linden findet eine solche Schwächung um 30 Prozent durch die Glocken statt. Die benutzten Glocken sind aus Milchglas, die Leuchtkraft wird dadurch auf eine größere Kugel verteilt und nach allen Seiten, auch nach oben ausgesandt. Das ist für die Straßenbeleuchtung durchaus unerwünscht, denn man will die Straßen beleuchten und nicht den Himmel. Durch Anbringung von Reflektoren hat man sich zu helfen gesucht. Diese sind aber nur wirksam, solange sie Reflexwirkungen ermöglichen; es müssen weiße, glatte Flächen sein. Die Reflektoren unter den Linden sind jetzt nichts weniger als weiß, und der Effekt dürfte nahezu Null sein.

Noch ein paar Worte über die Farbe des Lichtes. Aus unseren früheren Betrachtungen wissen wir, daß, je höher die Temperatur einer Leuchtquelle steigt, desto reicher das Licht wird an grüner und blauer Strahlung. Nun ist die Temperatur in dem Lichtbogen eine sehr hohe im Verhältnis zur Temperatur der Glühlampe. Während bei der letzteren nur Temperaturen von etwa 1300° in dem leuchtenden Kohlefaden auftreten, haben wir in dem Lichtbogen Temperaturen über 3000°. Daraus folgt, daß das Bogenlicht einen viel größeren Reichtum an blauen Strahlen besitzt. Der

Digitized by Google

Erfolg ist der, daß Gegenstände, welche wir bei Glühlichtbeleuchtung in rötlichem Lichte zu sehen gewohnt waren, bei Bogenlicht einen Stich ins Bläuliche erhalten. Das wirkt für das Auge unschön. Für Festbeleuchtungen, für Tanzsäle und dergleichen ist deshalb das Bogenlicht nicht zu empfehlen, da wir die Gesichter der Damen in rosigem Licht sehen wollen; sie bekommen durch das Bogenlicht einen fahlen Schein. In vielen Fällen muß man aber trotzdem, um die erforderliche Leuchtkraft zu erreichen, zum Bogenlicht seine Zuflucht nehmen.

Der elektrische Lichtbogen hat aber noch eine andere Eigenschaft, welche für die Technik von Wert ist. Das ist die hohe Temperatur. Die höchsten Temperaturen, welche man in Öfen erzielen kann, betragen wenig über 2000° C, in dem Lichtbogen hat man Temperaturen bis 3500° C gemessen.

Ganz neue Wirkungen haben sich gezeigt, als die Chemiker von dieser hohen Temperatur Gebrauch machten. Es spielen sich dabei chemische Prozesse ab, die bei niedrigen Temperaturen überhaupt nicht möglich sind, und man hat eine ganze Reihe von neuen Verbindungen hergestellt. Einige dieser Verbindungen haben bereits wichtige technische Bedeutung erlangt, und die unausgesetzten Forschungen der Chemiker versprechen eine weitere reiche Ausbeute. Die Reihe dieser Arbeiten begann mit einer Untersuchung, die eine praktische Bedeutung zwar nicht gewonnen hat, die aber doch interessant ist. Es war die künstliche Herstellung von Diamanten.

Andere im elektrischen Lichtbogen ausgeführte Prozesse haben größere praktische Bedeutung erlangt. Als die Moissanschen Versuche bekannt wurden, beschäftigten sich zahlreiche Leute damit, besonders in Amerika: man wollte große Diamanten erzeugen. Als die Versuche fehlschlugen, kam man auf den Gedanken, wenn auch nicht Diamanten selber, so doch wenigstens einen Stoff zu erzeugen, der dem Diamanten an Härte möglichst nahe kam. Nächst dem Diamant ist Korund der härteste Stoff, die kristallisierte Tonerde. Diese läßt sich im Lichtbogen schmelzen. Der Amerikaner Atcheson suchte Tonerde mit dem Kohlenstoff zu verbinden. Er bekam einen Stoff, der bei der Untersuchung

Digitized by Google

kleine Kristalle von außerordentlicher Härte zeigte. Man glaubte, eine neue Verbindung von Tonerde und Kohlenstoff gefunden zu haben. Die nähere Untersuchung zeigte, daß es eine Verbindung von Silicium mit Kohle war. Die geringe Beimengung von Quarz, die sich in der verwendeten Tonerde befunden hatte, war eine Verbindung mit dem Kohlenstoff eingegangen. Es war ein Körper entstanden, den man bis dahin gar nicht gekannt hatte, Silicium-Carbid. Da dieser nun eine Härte zeigte, welche der des Diamanten ziemlich nahe kam und größer war als die des Korund, war ein wertvolles Resultat erreicht, und heute arbeitet man am Niagarafall mit Tausenden von Pferdekräften an der Fabrikation dieses Stoffes. Es wird durch den elektrischen Lichtbogen Quarzsand, d. i. Kieselsäure, vereinigt mit Kohle, dann bildet sich der neue Stoff, dem Atcheson den Namen Karborund gegeben hat. Das Karborund bietet dem Schmirgel gegenüber einen nicht zu unterschätzenden Vorteil. Die Schmirgelscheiben werden hergestellt, indem man Korund mit Harzen vermischt und zu Scheiben preßt. Diese Stoffe vertragen aber keine hohe Temperatur; das ist ein empfindlicher Übelstand aller Schmirgelscheiben. Viel höhere Temperatur verträgt das Karborund. Atcheson vermischt es mit Kaolin und brennt die daraus geformten Scheiben, sie sind von großer Festigkeit.

Bald darauf trat eine zweite Errungenschaft hinzu. Der Chemiker eines großen Aluminiumwerkes in Amerika, namens Willson, beschäftigte sich ebenfalls damit, Diamanten darzustellen und verwandte die großen Öfen der Aluminiumfabrik dazu. Eines Tages schmolz er Kalk mit Kohle zusammen. Als die Schmelzung beendet war und das fertige Produkt aus dem Tiegel gegossen wurde, sah er, daß es zu einer unansehnlichen Masse von koksartigem Aussehen erstarrte. Er war sehr enttäuscht und gab seinen Arbeitern den Auftrag, die Masse auf den Hof zu schütten. Sie luden den Stoff in eine eiserne Schubkarre, und warfen den Inhalt, da es geregnet hatte, in eine Pfütze. Ein kolossaler Qualm stieg auf und wälzte sich über das Fabrikgrundstück; als er über einen Cupolofen strich, aus welchem Flammen herausschlugen, erfolgte eine außerordentlich heftige Explosion, so daß auf zwei Meilen in der Runde keine Fensterscheibe ganz blieb. Da sagte

Digitized by Google

sich Willson: Ein Stoff, der solche Wirkung hervorruft, ist ebenso wertvoll wie Diamant und machte sich von neuem an die Herstellung. Die chemische Untersuchung zeigte, daß ein Stoff gebildet war, den vor mehr als 50 Jahren schon Wöhler gefunden hatte, allerdings auf einem komplizierten chemischen Wege, eine Verbindung von Calcium — dem Metall des Kalkes — mit Kohlenstoff: das Calciumcarbid. Dieser Stoff, der in größeren Mengen nur herzustellen ist unter der Einwirkung der hohen Temperatur des Lichtbogens — sonst vereinigen sich Kohlenstoff und Calcium überhaupt nicht — hat die weitere merkwürdige Eigenschaft, daß, wenn man ihn mit Wasser zusammenbringt, ein Gas entsteht, das Acetylen, eine Verbindung von Kohlenstoff mit Wasserstoff, welches eine hohe Heizkraft und eine außerordentlich hohe Leuchtkraft bei der Verbrennung besitzt. Das Acetylen ist schnell in die Technik übergegangen, es sind heute schon in der Acetylenindustrie viele Millionen Kapital engagiert und über 100000 Pferdestärken, hauptsächlich in Wasserkräften, sind beschäftigt, Calciumcarbid herzustellen. Der Preis ist in letzter Zeit sehr hoch gestiegen, weil die vorhandenen Fabriken der Nachfrage nicht genügen können.

Wir wollen nun diesen Prozeß hier praktisch vorführen. In dem elektrischen Lichtbogen wollen wir Kalk mit Kohlenstoff vereinigen, und aus dem gewonnenen Calciumcarbid wollen wir Acetylen erzeugen (Fig. 43, XII).

Wir haben in diesem elektrischen Ofen einen Graphittiegel, angefüllt mit einem Gemisch von pulverisiertem Kalk und von Kohle; zwei Kohlenstäbe, die den elektrischen Strom zuführen, tauchen wir in das Gemisch. Es bildet sich zwischen den beiden Kohlen der Lichtbogen aus, und unter der hohen Temperatur desselben findet die Vereinigung statt. Wir setzen eine Glimmerplatte davor, um die Augen zu schützen. Die Dämpfe, die entstehen, sind Kalkdämpfe; wenn man sie einatmet, empfindet man einen lebhaften Hustenreiz; die Gegenstände im Zimmer überziehen sich mit einem feinen Kalkstaub.

Jetzt mag es genug sein, wir wollen das Carbid nachweisen, indem wir die Masse aus dem Tiegel schütten und mit Wasser

Digitized by Google

übergießen. Es entwickelt sich lebhaft ein Gas, das ich mit dem Streichholz anzünden kann und das mit helleuchtender Flamme verbrennt. Sie bemerken, daß ein unangenehmer Knoblauchgeruch entsteht; aber daran ist nicht das Acetylen schuld, das sind Spuren von Phosphorwasserstoff.

Hier haben wir etwas von dem Calciumcarbid in ein Reagenzgläschen getan, haben Wasser darüber gegossen und das Ganze durch einen Kork verschlossen, durch den eine Glasröhre gesteckt ist, wir erhalten eine dauernde helle Flamme.

Die Leuchtkraft des Acetylen ist außerordentlich hoch und hat etwas sonnenähnliches, es hat sich deshalb schnell eingebürgert. Die industrielle Entwicklung wurde allerdings etwas gehemmt, als vor einigen Jahren einige schwere Unglücksfälle sich ereigneten. Das Acetylen bietet nämlich in doppelter Hinsicht Gefahr. Vermischen Sie dasselbe mit Luft, so entsteht ein explosives Gemenge. Die Explosion ist ähnlich wie beim Leuchtgas. Außerdem aber besitzt das Acetylen eine Gefahr, die wir beim Leuchtgas nicht kennen. Dasselbe ist nämlich ein sogenannter endothermischer Körper, d. h. es braucht zur Explosion nicht die Gegenwart von Sauerstoff. Die Stoffe, aus denen das Acetylen besteht, Kohlenstoff und Wasserstoff, nehmen in dem Acetylen in verdichtetem Zustande einen minimalen Raum ein, der sich vertausendfacht, sobald der Wasserstoff in die gasförmige Form übergehen kann. Wenn nun ein solcher Körper in seine Bestandteile zerfällt, so entsteht eine gewaltige und plötzliche Volumenveränderung, so daß das Ganze den Charakter einer Explosion annimmt. Aber glücklicherweise findet dieser Zerfall nur statt, wenn das Acetylen komprimiert ist, und zwar verlangt es eine Kompression von mindestens zwei Atmosphären. Am gefährlichsten ist es, wenn man das Acetylen verflüssigt, dann haben die Explosionen direkt verheerende Wirkungen.

Die ersten Studien über die Gefährlichkeit des Acetylens verdanken wir Berthelot, dem berühmten französischen Chemiker. Er füllte große Bomben mit komprimiertem Acetylen und ließ sie 4 m herunterfallen; es traten furchtbare Explosionen auf. Fast schien es, als würde diese Gefahr das Acetylen vollständig von der

Digitized by Google

praktischen Verwendung ausschließen. Weitere Versuche haben indes gezeigt, daß, wenn das Acetylen nicht komprimiert ist, die Gefahr der endothermischen Zersetzung nicht vorhanden ist.

Es ist noch gar nicht abzusehen, welche Stoffe der elektrische Ofen uns noch liefern wird. Die Elektrochemiker sind an der Arbeit, und die Fachjournale sind gefüllt mit Berichten über eigentümliche Verbindungen, die dadurch möglich geworden sind.

Aber auch nach anderer Richtung hin ist die hohe Temperatur des Lichtbogens technisch verwertet worden, nämlich zum Schweißen und Löten der Metalle. Der erste, der auf diesem Gebiete praktische Vorschläge machte, war der Russe Benardos. Nach seinem Schweiß- und Schmelzverfahren wird der Metallkörper, z. B. Eisen, mit dem einen Pol der Batterie oder Maschine, der andere Pol mit einem dicken Kohlenstift verbunden. Man ersetzt also die eine Kohle durch das Metall, welches behandelt werden soll und bearbeitet gewissermaßen das Metall mit dem zweiten Kohlenstift. Macht man Berührung und zieht die Kohle wieder zurück, so bildet sich der Bogen, der vom Eisen zur Kohle übergeht, und in der hohen Temperatur schmilzt natürlich das Eisen wie Butter.

Sie sehen, wie sich die Stichflamme bildet. Der Bogen lodert heraus. Von der außerordentlich hohen Temperatur überzeugen wir uns, indem wir in ein Eisenblech ein Loch schmelzen — ein höchst willkommenes Werkzeug für alle „Geldschrankknacker".

Digitized by Google

4.

Ein Spaziergang in einem Sonnenstrahl.

Die letzten beiden Jahrzehnte des abgelaufenen Jahrhunderts sind für die Lehre von der Elektrizität und ihre Anwendung besonders ereignisreich gewesen. Neue Theorien haben die alten abgelöst und wichtige Anwendungen, wie die Röntgen-Photographie und die Funkentelegraphie, haben den praktischen Wert rein wissenschaftlicher Forschung von neuem in das hellste Licht gestellt.

Die Quelle, aus welcher die neue Anschauung hervorging, sind die Strahlen der Sonne, welche unsere Erde belebt und verschönt. Ihr danken wir die Fruchtbarkeit unserer Felder, den Glanz des Sommertages, die Purpurglut der Abendwolken und die Farbenpracht des Regenbogens.

Was ist der Regenbogen? Der Dichter nennt ihn nicht mit Unrecht „einen Strahl des Lichts, der sich in Tränen bricht", denn wir wissen, daß das Sonnenlicht, welches auf einen Wassertropfen fällt, sich in vielfarbige Strahlen zerlegt. Besonders schön zeigt uns dies Farbenspiel eine große Fontäne, auf deren niederwallende Schleier die Sonne ihre bunten Farben wirkt. Die Sonne steht uns heute leider nicht zur Verfügung, wir wählen eine ähnliche Lichtquelle — die elektrische Lampe. Bringen wir in den Weg der Strahlen eine mit Wasser gefüllte Glaskugel, eine prosaische Schusterglocke, oder noch besser ein mit Flüssigkeit gefülltes prismatisches Glasgefäß, so breiten sich auf einer weißen Fläche die Farben des Regenbogens zu einem leuchtenden Bande, dem Spektrum, aus.

Young und Fresnel haben uns die Gesetze enthüllt, nach denen sich dieses Farbenspiel ordnet, sie führten zur Wellentheorie des Lichts. Ein Beispiel soll uns die Anschauung er-

Digitized by Google

läutern. Werfen wir einen Stein auf einen Wasserspiegel, so entstehen ringförmige Wellen, welche die Störung in wachsenden Kreisen verbreiten. Vor der elektrischen Lampe steht ein flaches, rundes, mit Quecksilber gefülltes Gefäß. Eine Spiegelvorrichtung wirft uns das Bild der Oberfläche desselben auf den weißen Schirm (Fig. 44, XVII). Tippen wir mit der Fingerspitze leise auf die Mitte des Quecksilberspiegels, so entstehen konzentrische Wellen, welche nach dem Rande des Gefäßes eilen und dort zurückgeworfen werden. Wir sehen ein Bild von sogenannten stehenden Wellen, bei denen die Wellenberge und Wellentäler an der gleichen Stelle entstehen. Ein lebhaftes Auf- und Niederschwanken des Quecksilberspiegels zeigt uns die sogenannten Bäuche der stehenden Welle; dazwischen liegen in konzentrischen Kreisen die sogenannten Knotenlinien, in denen das Quecksilber in Ruhe verharrt. Ein nicht so gesetzmäßiges aber noch reizvolleres Bild zeigt uns die Wellenbewegung auf hoher See. Aus zahllosen Richtungen kreuzen sich die Wellenzüge. Hier gleichen sich die Bewegungen aus und glätten die Flut zu kristallenem Spiegel, dort vereinigen sie sich und zerstäuben am Wellenberg zu schneeigem Gischt — den weißen Rossen Neptuns.

Kehren wir zu dem einfacheren Bilde der stehenden Welle zurück, sie ist der Beobachtung zugänglicher. Jedes Quecksilberteilchen erfährt einen doppelten Antrieb in senkrechter Richtung von der hinlaufenden und von der zurücklaufenden Welle. Haben die auf- und niedertanzenden Kräfte an einer Stelle gleiche Richtung, so summieren sie sich, bei ungleicher Richtung vermindern sie sich. Einzelne Stellen heben sich dabei deutlich ab. Zunächst diejenigen, in welchen die Summation einen Höchstwert erreicht. Hier findet ein besonders lebhaftes Auf- und Niederschwanken des Quecksilberspiegels statt, es sind die Wellenbäuche. An anderen Stellen gleichen sich die Kräfte dauernd aus, der Quecksilberspiegel verharrt in Ruhe, wir erkennen die sogenannte Knotenlinie, oder im vertikalen Querschnitt die Knotenpunkte.

Ich muß nun eine kleine Zeichnung (Fig. 45, XVI) zu Hilfe nehmen, um eine wichtige Beziehung zu erläutern. Die dicke

Digitized by Google

Linie zeigt einen Querschnitt durch die hinlaufende Welle, die punktierte die zurücklaufende. Auf dem Wege von A bis C hat die Welle einen Berg und ein Tal vollendet, sie hat ihre eigene ganze Länge zurückgelegt. Die Entfernung zweier Knotenpunkte bestimmt also die halbe Wellenlänge. Es sei nun möglich, die Anzahl der Schwingungen eines Bauches zu zählen, sie betrage beispielsweise 1000 in 1 Sekunde; die Länge von *A* bis *C* sei 1 m. Bei jeder vollen Schwingung nach oben und unten trägt also die Welle die Störung um 1 m im Quecksilber weiter, in 1 Sekunde bei 1000 Schwingungen also um 1000 m, dies nennt man die Fortpflanzungs- oder Wanderungsgeschwindigkeit der Welle. Verwandeln wir also eine Wellenbewegung in die stehende Form, so können wir durch Messung der Abstände ihrer Knoten oder Bäuche und durch Zählung der Schwingungen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle ermitteln.

Die Lichttheorie erklärt nun die Wanderung des Lichts durch Wellenbewegung eines hypothetischen Stoffes von unendlicher Feinheit, der den Weltraum sowohl wie alle Räume zwischen den Molekülen der festen Körper ausfüllen soll, man nennt ihn den Weltäther. Ein leuchtender Punkt stört nach dieser Auffassung das umgebende Äthermeer mit rhythmisch erzitternder Bewegung, wie ein Steinwurf die stille Wasserfläche. In alle Richtungen des Raumes strahlen diese Wellen aus, und wenn die Netzhaut unseres Auges davon getroffen wird, so haben wir die Empfindung des Lichtes. Erstaunliche Wege haben diese Wellen durchwandert, wenn sie von der Sonne zu uns gelangen. Aus astronomischen Messungen hat man ihre Geschwindigkeit abgeleitet, sie beträgt 300000 km in der Sekunde.

Aber nicht nur eine Wellenart sendet die Sonne aus, sondern eine unendliche Vielheit von Wellen, die zwar alle mit der gleichen Geschwindigkeit wandern, jedoch verschiedene Wellenlängen besitzen. Unser Auge ist ein so wunderbar gebautes Organ, daß es einzelne Wellenarten deutlich unterscheidet. Wir erkennen sie als Färbung, das ist aber nichts weiter als die Bezeichnung für eine bestimmte subjektive Empfindung. Das Sonnenlicht ist ein Gemisch aus allen Farben des Regenbogens, wir machen sie einzeln

Digitized by Google

sichtbar, wenn wir den Strahl durch ein mit bestimmten Flüssigkeiten gefülltes Glasgefäß fallen lassen. Die einzelnen Wellenarten werden dadurch abgelenkt von ihrer geradlinigen Wanderung, aber alle in verschiedenem Maße. Wir falten sie also gleichsam wie einen Fächer auseinander und werfen sie auf den weißen Schirm als farbiges Band.

Durch künstliche Mittel können wir einfarbiges Licht erzeugen. Bringen wir in den Weg der farbigen Strahlen z. B. ein rotes Glas, so können nur die roten Lichtwellen hindurchfluten, alle anderen werden vom Glase zurückgehalten. Wir filtrieren gleichsam die Wellen des Lichts. Es ist gelungen, die Wellenlängen der einfarbigen Lichtstrahlen zu messen. Sie sind von außerordentlicher Kleinheit. 800 Millionstel eines Millimeter beträgt die Wellenlänge im roten Licht, sie nimmt nach dem violetten Teil des Spektrums hin noch wesentlich ab, dort ist sie nur 400 Millionstel eines Millimeter. Aus der vorhin angestellten Betrachtung können wir nunmehr die Schwingungszahlen des Äthers berechnen, da wir die allen Wellen gemeinsame Wanderungsgeschwindigkeit, 300000 km in 1 Sekunde, kennen. In dem roten Licht schwingen die Ätherteilchen 400 Billionen mal in 1 Sekunde. Ein Vergleich veranschaulicht uns diese ungeheure Zahl. Gibt eine Stimmgabel das zweigestrichene C, so macht sie 100 Schwingungen in der Sekunde; sie würde 12000 Jahre gebrauchen, um 400 Billionen auszuführen, die beim roten Licht sich in einer Sekunde, beim violetten sich in einer halben Sekunde vollziehen.

Es gibt für den Naturfreund kaum etwas Fesselnderes als das Studium des farbigen Lichts, hat es doch unseren größten Dichter jahrzehntelang mit seinem Zauber gebannt. Doch ihm, der den feinsten Regungen der Menschenseele treffendsten Ausdruck verlieh, blieb es versagt, das Geheimnis dieser farbigen Schwingungen mit seinem Geist zu durchdringen. Wie würde er staunen, sähe er heute das entschleierte Bild im Lichte der neueren Forschung.

Aber nicht bei dem sichtbaren Spektrum will ich verweilen, unser heutiges Ziel sind die verborgenen Tiefen des unsichtbaren, welche sich erst in den letzten zwei Jahrzehnten dem

Digitized by Google

Menschen erschlossen haben. Rechts und links von dem sichtbaren Teil des Spektrums sind Wirkungsgebiete des Lichts vorhanden, welche dem physischen Auge verborgen bleiben. Andere Mittel müssen herangezogen werden, wollen wir den leisen Wellenschlag dieser unendlich feinen Ätherschwingungen entdecken.

Jenseits des Violett sind es chemische Wirkungen, welche wir wahrnehmen; die photographische Platte läßt sie erkennen. Könnten wir die ganze Breite des Spektrums mit lichtempfindlichem Papier bedecken, wie es der Photograph zur Herstellung der Abzüge verwendet, so würden wir nach einiger Zeit die bekannte dunkle Tönung, welche das Licht hervorbringt, entstehen sehen. Während aber das rote Licht das Papier fast vollkommen unberührt läßt, färbt es dasselbe in immer dunkleren Tinten je weiter wir fortschreiten zum violetten Teil. Doch die tiefste Färbung erhalten wir erst in jenem dunklen Raum jenseits des Violett. Dies beweist, daß unser Prisma aus dem weißen Sonnenlicht neben den sichtbaren farbigen Lichtstrahlen auch noch andere, unsichtbare absondert, welche weiter abgelenkt werden, und welche die stärkste chemische Kraft besitzen. Wir können auch diese mit Fug und Recht als Lichtstrahlen bezeichnen. Aber diese unsichtbaren Strahlen haben auch noch andere Wirkungen als jene chemischen, durch welche das photographische Papier sich färbte.

Man hat Stoffe gefunden, welche die Eigenschaft besitzen, daß sie einen unsichtbaren Lichtstrahl von bestimmter Wellenlänge zurückwerfen mit anderer Wellenlänge. In dem Stoffe selbst findet also eine Änderung, eine Umsetzung derselben statt. Ist die reflektierte Wellenlänge nun eine solche, welche einem sichtbaren Lichtstrahl entspricht, so leuchtet der Stoff mit dessen Farbe. Hier ist ein Papierschirm mit Kristallen von Bariumplatincyanür bedeckt. In der Dunkelheit sehen wir ihn kaum, halte ich ihn jedoch in den ultravioletten Teil des Spektrums, so leuchtet er auf. Wunderbare Kräfte müssen in diesen winzigen Kristallen tätig sein, welche das leise Erzittern des Äthers in strengster Gesetzmäßigkeit wandeln. Könnte man die dunkeln Regungen mancher Menschenseele durch künstliche Mittel doch ebenso glücklich verwandeln!

Die kleinsten Wellenlängen dunkler Strahlen im ultravioletten

Digitized by Google

Teil des Spektrums, welche man bisher mit Sicherheit nachgewiesen hat, betragen 100 Millionstel eines Millimeter. In weitere Tiefen ist die Forschung noch nicht gedrungen, doch haben neuere Untersuchungen über die Röntgenstrahlen die Vermutung erweckt, daß diese Strahlen in den entlegensten Teilen des Spektrums zu suchen sind. Zwischen ihnen und den bekannten Wellen des Spektrums liegt noch ein großes unbekanntes Gebiet, ein anderer dunkler Weltteil, dessen Erschließung reiche Ernte verspricht.

In diesem noch unbekannten Teile des Spektrums scheinen auch die vielen wilden Strahlen heimatsberechtigt zu sein, die in letzter Zeit so viel von sich reden machten. Wissenschaftliche Klarheit ist indes darüber nicht verbreitet, einzelne Wahrnehmungen haben sich als Täuschungen erwiesen.

Alle Strahlen im Ultraviolett entziehen sich der direkten Wahrnehmung durch das menschliche Auge. Wunderbarerweise scheint es aber Tiere (Insekten) zu geben, deren Augen auch für diese Strahlen organisiert sind. So hat man eine merkwürdige Beobachtung an Fliegen gemacht. Sie suchen bekanntlich das Licht. Man nahm zwei luftdicht geschlossene Kasten, den einen aus Karton, den anderen aus Blei und setzte sie nebeneinander, nachdem man die Grenzwände mit einer Öffnung versehen hatte. In den Bleikasten setzte man Fliegen. Nach längerer Behandlung der Kästen mit Röntgenstrahlen, welche bekanntlich den Karton mit Leichtigkeit, das Blei aber überhaupt nicht durchdringen, fand man die sämtlichen Fliegen in der Kartonabteilung versammelt. Sie hatten sich den Genuß verschafft, in den Röntgenstrahlen spazieren zu gehen, mußten sie also doch wahrgenommen haben.

Intensive Röntgenstrahlen erzeugt man bekanntlich, indem man hochgespannten Strom durch eine evakuierte Glasröhre hindurchführt. Man bezeichnet bei einer solchen Glasröhre ebenso wie bei einer elektrolytischen Zelle die Eintrittsstelle des Stromes als Anode, die Austrittsstelle als Kathode. Wenn wir den Strom hindurchführen, sehen wir, daß die Röhre ein grünliches Licht ausstrahlt. Diese Wirkungen gehen von der Kathode aus, es sind die sogenannten Kathodenstrahlen. Wo diese die Glaswand treffen, erzeugen sie grünliches Licht.

Digitized by Google

Zu gleicher Zeit wird die getroffene Glaswand zum Ausgangspunkt einer neuen Strahlung, der Röntgenstrahlung. Es werden feine mit Elektrizität geladene Partikelchen von der Kathode fortgerissen und gegen die Glaswand geschleudert; beim Auftreffen findet dann eine Entladung statt, und durch diese werden die Röntgenstrahlen hervorgerufen.

Man hat nun die Wirkung dadurch verstärkt, daß man die Kathodenstrahlung nicht auf die Glaswand auffallen läßt, sondern auf ein kleines Platinblech, welches Sie in der Mitte der Röhre wahrnehmen (Fig. 46, XVI). Dieses Platinblech wird jetzt der Ausgangspunkt der Röntgenstrahlung; letztere tritt durch die Glaswand hindurch nach außen und hat, wie Ihnen wohl bekannt ist, die Fähigkeit, auf die photographische Platte zu wirken, ebenso wie auf einen Leuchtschirm von Bariumplatincyanür. Die Röntgenstrahlen haben aber die Eigenschaft, daß sie die verschiedenen Körper in verschiedener Weise durchdringen oder, richtiger gesagt, von den verschiedenen Körpern in verschiedenem Maße verschluckt werden. So gehen sie fast ohne jeden Verlust durch die Weichteile des menschlichen Körpers, weniger leicht durch die Knochen, und wir können, wenn wir einen menschlichen Körper in den Weg der Röntgenstrahlen bringen, auf einem davor befindlichen Bariumplatincyanür-Schirm ein deutliches Bild des Knochenbaues erkennen. Die Chirurgie hat von diesem neuen Mittel bereits in ausgedehnter Weise Gebrauch gemacht.

Ich habe mich mit dieser Sache beschäftigt aus einem anderen Grunde. Ich wollte versuchen, ob nicht Stoffe, die in der Technik eine Rolle spielen, zu durchdringen sind; in erster Linie das Eisen. Auch durch Eisen gehen die Röntgenstrahlen hindurch, allerdings muß man außerordentlich hoch evakuierte Röhren anwenden, sogenannte harte Röhren, und es ist die Wirkung auch dann nur eine begrenzte. Hier habe ich z. B. die Photographie von einer eisernen Düse, deren Wandstärke 15 mm beträgt. Sie können deutlich den inneren Raum der Düse erkennen (Fig. 47, XVIII). Hier ist eine Säbelscheide mit eingeschlossenem Säbel (Fig. 48, XVI) und hier ein Gewehrlauf mit darin befindlicher Patrone (Fig. 49, XVI). Das Verfahren hätte Wert, wenn es gelänge, Fehler im Guß z. B. zu

Digitized by Google

erkennen. Daß das unter gewissen günstigen Bedingungen möglich ist, zeigt dieses Bild einer eisernen Eisenbahnschiene (Fig. 50, XVIII), welche im Innern einen Fehler hat. Sie werden hier deutlich diese feinen Risse erkennen. Es ist ein Walzfehler. Aber technische Brauchbarkeit besitzt das Verfahren trotz alledem noch nicht, denn ich habe, um das Bild zu erhalten, von der Schiene erst einen Schnitt machen müssen. Wollte ich die volle Schiene nehmen, so überdecken sich die einzelnen Fehler mit den Eisenteilen, und es ist nicht möglich, Dimensionen wahrzunehmen. Das schöne Ziel, Fehler in fertigen Wellen oder in Kanonenrohren nachzuweisen, hat sich nicht erreichen lassen.

In wie umfangreicher Weise man die Röntgenstrahlen für chirurgische Zwecke benutzt, ist bekannt.

Hier kann ich Ihnen ein interessantes Bild zeigen, den Kopf von Li-Hung-Tschang, am 26. Juli 1896 aufgenommen — das erste Schädelbild. Der Vizekönig Li-Hung-Tschang hatte bekanntlich bei einem Attentat eine Kugel in den Schädel bekommen. Er litt große Schmerzen und die Ärzte erklärten eine Operation für unmöglich, da sie mit der Sonde die Kugel nicht fanden. Im Jahre 1896 hatte ich Gelegenheit, ihn kennen zu lernen. Er fragte mich, ob durch Röntgenstrahlen die Kugel nachzuweisen wäre. Ich stellte es in Aussicht, und er kam hierher zur Aufnahme (Fig. 51, XVII). Das Bild zeigt deutlich die Kugel und den Schußkanal; man versteht jetzt, weshalb die Ärzte die Kugel nicht finden konnten. Sie ist in eine sackartige Aushöhlung des Schädelknochens gerutscht. Mit welcher stoischen Ruhe sich der chinesische Bismarck dieser Prozedur unterwarf, war staunenswert. Glücklicherweise ist nichts passiert. Heute würde ich das Experiment nicht wiederholen, denn man hat seitdem gefunden, daß intensive Röntgenstrahlung unter Umständen recht nachteilige Folgen haben kann.

Kehren wir aus dem dunklen Raum des Ultraviolett zurück zum leuchtenden Teile des Spektrums. Sobald wir uns der roten Strahlung nähern, bemerken wir, daß dieselbe noch eine andere physiologische Wirkung auf uns ausübt als durch das Auge. Die rote Glut eines Kaminfeuers spendet nur wenig Licht, wie an-

Digitized by Google

genehm empfinden wir aber seine Nähe an einem kühlen Herbstabend. Es ist strahlende Wärme, die auf uns einwirkt. Alle Strahlen des Spektrums, deren Wellenlänge nahe an 800 Millionstel Millimeter liegen, haben die Eigenschaft, Wärmewirkungen hervorzurufen, wenn sie auf einen festen Körper fallen.

Die Wärmestrahlung gehorcht denselben Gesetzen wie die Lichtstrahlung. Die konzentrierende Wärmewirkung des Brennglases haben wir, nicht ohne schmerzhafte Blasen, schon in der Jugend kennen gelernt, sie entspricht der Lichtkonzentration durch optische Gläser. Auch die Reflexion an spiegelnden Flächen können wir für Wärmestrahlung erweisen. Bekannt ist die weittragende Lichtwirkung der Scheinwerfer an Bord der Kriegsschiffe. Die dabei benutzten Hohlspiegel sind nicht nach einem Kreise, sondern nach einer Parabel gekrümmt, das ist eine Linie wie sie eine aus einem Mörser geschleuderte Bombe in der Luft beschreibt. Innerhalb eines solchen Hohlspiegels ist ein Punkt vorhanden, welcher die Eigenschaft besitzt, daß alle Lichtstrahlen welche von ihm ausgehend auf den gekrümmten Spiegel fallen, in paralleler Richtung als ein konzentriertes Strahlenbündel mit großer Lichtstärke reflektiert werden. Beim Scheinwerfer ist in diesen sogenannten Brennpunkt eine elektrische Bogenlampe gebracht. In einiger Entfernung habe ich hier einen zweiten parabolischen Spiegel dem Scheinwerfer gegenüber gestellt. Die parallel auffallenden Lichtstrahlen werden hier in umgekehrter Richtung im Brennpunkt wieder vereinigt. Aber auch die Wärmestrahlung konzentriert sich dort, was wir daran erkennen, daß sich in diesem Brennpunkt ein Streichholz entzündet (Fig. 52, XVII).

Diese Wärmewirkung ist nun aber nicht etwa nur eine Begleiterscheinung des sichtbaren Lichts. Wir können sie auch in den dunklen Strahlen jenseits des Rot nachweisen. Eines empfindlichen Thermometers kann ich mich dazu nicht bedienen, das wäre nur in der Nähe zu erkennen. Ich wähle ein anderes Mittel, welches die leisesten Wärmeschwingungen weithin sichtbar macht. Es ist ein Apparat, welcher mit Hilfe der Wärmestrahlen eine elektrische Erregung hervorruft. Werden zwei verschiedene Metalle in innige Berührung gebracht, etwa durch Lötung, so entsteht ein sogenanntes

Digitized by Google

Thermoelement. Eine auf die Lötstelle gerichtete Wärmestrahlung erzeugt dort eine elektrische Spannung und wenn die beiden Metalle miteinander leitend verbunden werden, so entsteht in dem geschlossenen Drahtkreise ein elektrischer Strom. Hier steht eine solche Einrichtung (Fig. 53, XIX), welche zum Messen von Temperaturen dient. Aus Platin und Iridium ist eine kleine Kugel zusammengeschweißt und durch Drähte mit einem Galvanometer, d. i. ein Instrument zum Messen des Stromes, verbunden. Halte ich die kleine Kugel in die Flamme eines Bunsenbrenners, so entsteht ein elektrischer Strom, und die Nadel des Galvanometers wird abgelenkt. Die Skala ist in Celsiusgrade geteilt, ich lese 1800° ab. Mit derselben Leichtigkeit lassen sich auch außerordentlich kleine Temperaturerhöhungen messen, ich brauche nur ein wesentlich empfindlicheres Galvanometer zu Hilfe zu nehmen. Auf dem Wandkonsol steht ein solches. Die Drehung der Magnetnadel mache ich durch einen Lichtstrahl sichtbar. Von einer vor dem Instrument stehenden elektrischen Lampe fällt derselbe auf einen kleinen Spiegel (Fig. 54, XIX), der an der Magnetnadel befestigt ist; er wird reflektiert und auf die gegenüberliegende Wand des Saales geworfen. Die geringste Drehung der Magnetnadel und damit des Spiegels ruft ein Wandern des Lichtflecks hervor. Halte ich nun das Thermoelement in den ultraroten Teil des Spektrums, so zeigt die Wanderung des Lichtstrahls an, daß dort unsichtbare Strahlen eine Wärmewirkung ausgeübt haben.

Noch einfacher kann ich die unsichtbare Wärmestrahlung mit einem kleinen Apparate nachweisen, der in der Mitte der siebziger Jahre die Spiritisten in Aufregung versetzte. Es ist das Radiometer von Crookes (Fig. 55, XXIII). Vier horizontale Glimmerflügel sind auf einer feinen Spitze drehbar aufgehängt in einer luftentleerten Glasglocke; die eine Seite der Glimmerflügel ist geschwärzt. Lasse ich Licht darauffallen, so setzt sich die kleine Mühle in Bewegung, ebenso schon wenn ich die Hand der Glocke nähere. Man glaubte damals mit überirdischen Kräften zu tun zu haben. Heute ist das Geheimnis enthüllt: Es sind ledgilich die feinen Ätherwellen der Wärmestrahlen, welche auf die etwas geneigten berußten Flächen stärkere Kräfte ausüben als auf die unberußten. Das wird sofort

Digitized by Google

klar, wenn wir das Instrument in die Strahlen des Spektrums bringen. Die violetten und grünen Strahlen üben keinen Einfluß aus, weil sie arm an Wärmewirkung sind. Lebhaft dreht sich die Mühle in der roten Strahlung, am allerschnellsten aber, wenn die ganz dunklen ultraroten Strahlen darauf fallen.

Was aber liegt nun jenseits dieser Grenze? Gibt es noch längere Wellen im Äthermeer, die mit Lichtgeschwindigkeit ihre Wirkungen durch den Raum tragen und woran erkennen wir sie? Die Forschung der letzten Jahrzehnte hat eine Antwort auf diese Frage erteilt. Wir wissen heute, daß jenes weite Reich, welches sich jenseits der Wärmewellen bis in die Unendlichkeit ausdehnt, die Welt der elektrischen Erscheinungen ist.

Rufen wir irgendeine elektrische Erschütterung hervor, so wird das uns umgebende Äthermeer dadurch genau so in Wellenbewegung versetzt, wie durch einen leuchtenden Punkt. Nur in der Größe der Wellenlänge besteht der Unterschied. Während die Lichtwellen von kaum faßbarer Kleinheit sind, haben die elektrischen Wellen des Äthers ganz respektable Längen. Wir können sie erzeugen in Dimensionen von wenigen Zentimetern bis zu tausenden von Kilometern. Sie befolgen aber alle die gleichen Gesetze der Fortpflanzung und Ausbreitung wie die Lichtwellen; sie wandern mit der gleichen Geschwindigkeit von 300000 km in der Sekunde. Wenn die dunkle Gewitterwolke sich in grellen Blitzen entladet, so ist es nicht allein das blendende Licht und die gewaltige Lufterschütterung, der Donner, die unsere Sinne erregen. Auch in elektrische Mitleidenschaft wird unser Körper gezogen, elektrische Schwingungen durchzucken uns und sensitive Naturen verspüren den Blitz, auch wenn sie ihn weder sehen noch hören.

Es sind verhältnismäßig schnelle Schwingungen, die der Blitz hervorruft, Wellen von wenigen tausend Metern Länge. Wir können aber auch elektrische Wellen von einigen tausend Kilometern Länge erzeugen und ich will ihre Schwingungen sichtbar machen. An diesem Apparat drehe ich einen Magnet mit übergreifenden Polen um einen Ring, der dicht mit Draht bewickelt ist (Fig. 56, XX). Dadurch entstehen elektrische Ströme, die bei jeder Umdrehung einmal ihre Richtung wechseln. Wir

Digitized by Google

nehmen den Richtungswechsel an dem Zeiger eines Meßinstrumentes wahr, welcher der Schnelligkeit der Drehung entsprechend hin- und herpendelt. Man nennt einen solchen Strom einen Wechselstrom, da er den Draht in stets wechselnder Richtung durchzuckt, wir bringen also den Strom in schwingende Bewegung. Die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde nennt man seine Frequenz. Drehe ich den Magneten mit der Frequenz 1, d. h. einmal pro Sekunde, so wird auch der umgebende Äther nur einmal pro Sekunde erschüttert. Da die Ätherwelle sich in 1 Sekunde um 300000 km fortpflanzt, so ist also die Wellenlänge genau 300000 km.

Diese Eigenschaft, den Äther in Wellenbewegung zu versetzen, hat aber nur der schwingende oder Wechselstrom. Der Gleichstrom, welcher seine Richtung und Stärke niemals ändert, hat diese Eigenschaft nicht, er kann also auch keine Wirkung in die Ferne tragen.

Starke Erschütterung des Gleichstroms, wenn ich z. B. seinen Fortgang in einer Drahtleitung plötzlich hemme, bewirkt eine Erschütterung des Äthers, die sich als einzelne Welle durch den Raum verbreitet. An jener Wand des Saales hängt ein zum Kreise gebogener Draht; ich will einen Gleichstrom hindurchschicken und diesen dann plötzlich unterbrechen (Fig. 57, XX). Die dadurch entstehende Ätherwelle trifft an der gegenüberliegenden Saalwand auf einen ähnlichen Drahtkreis, der aber keine Stromquelle enthält. Durch das Auftreffen der Ätherwelle wird indessen ein kurzer Stromstoß in dem Drahte hervorgerufen, den uns das Galvanometer auf dem Wandkonsol durch ein Wandern des Lichtflecks anzeigt. Meilenweit kann man durch solche Einrichtungen Signale durch den Raum übertragen, wie Sir William Preece, der erste Erfinder erfolgreicher und praktisch verwendeter drahtloser Telegraphie gezeigt hat. Durch die spätere Funkentelegraphie Marconis wurde die Übertragungsweite allerdings vervieltausendfacht.

Im Maschinensaal des Laboratoriums erzeugen wir einen starken elektrischen Wechselstrom durch eine Maschine, die ganz ähnlich eingerichtet ist wie das hier auf dem Tische stehende Modell, mit dem wir die langsamen elektrischen Schwingungen

Digitized by Google

hervorriefen. Unsere große Maschine liefert uns 100 Schwingungen in der Sekunde, d. i. etwa $^1/_6$ bis $^1/_{10}$ der Frequenz, mit der wir vorhin die Schallwellen erzeugten. Wir führen sie durch eine Drahtspule, die auf einen eisernen Kern gewickelt, hier vor Ihnen steht. Derselbe wird dadurch magnetisiert, er gerät in magnetische Schwingungen, d. h. er wechselt 100 mal in der Sekunde seine Polarität. Stülpe ich darüber eine dünne Membran aus weichem Eisen, so folgt dieselbe als ein gehorsamer Diener den magnetischen Schwingungen, wie der kleine Blechschwan, den wir als Kinder mit dem Magneten in der Waschschüssel hin- und herführten. Die auf- und niedergehende Bewegung der eisernen Membran erschüttert die Luft und erzeugt einen brummenden Ton, welcher genau 100 Schwingungen in der Sekunde entspricht.

Nun will ich zeigen, daß die elektrischen Schwingungen sich durch den Raum ohne verbindenden Draht auf eine zweite Drahtspule übertragen, die ich frei in der Hand halte. Auch diese wird jetzt von elektrischen Schwingungen erfüllt; ich mache sie erkennbar durch eine kleine Glühlampe, die mit den Enden der Spulenwicklung verbunden ist (Fig. 58, XXI). Könnte ich die Wirkung beliebig steigern, so würde die Lampe auch noch in größeren Entfernungen leuchten. Das wäre eine ideale Lichterzeugung: in einer Zentralanlage würden Riesenspulen in elektrische Schwingungen versetzt und jedermann trüge sein Lämpchen mit sich herum. So könnte jeder sein Licht leuchten lassen, wo und wann es ihm beliebt. Leider geht das aber nicht, denn die Wirkungen der langsamen elektrischen Schwingungen sind nicht sehr weittragend, nur in der Nähe der Zentrale können wir, wie der Dichter sagt, „prunken mit erborgtem Licht".

Bleiben wir aber in der Nähe, so können wir nicht bloß Licht, sondern auch Wärme erzeugen, und zwar eine ganz ansehnliche. Hier diesen dicken Kupferring kann ich bis zur hellen Rotglut erhitzen, wenn ich ihn frei in der Luft darüber halte (Fig. 59, XXI). Wir müssen nur ein Weilchen warten.

Auch direkte mechanische Wirkungen gehen von unserer Spule aus. Ich lege eine Drahtschlinge darüber, deren Enden zu einem Kontakt führen, den ich in der Hand halte (Fig. 60, XXII).

Digitized by Google

Sobald ich schließe, macht die Schlinge einen Freudensprung. Eine hohle Metallkugel wird über der Spule in Schwebe gehalten unter Überwindung der Schwerkraft. Sie tanzt gewissermaßen auf den von der Spule ausgehenden magnetischen Wellen wie eine Glaskugel auf dem Fontänenstrahl (Fig. 61, XXII). Schirme ich die elektrischen Wellen durch eine Metallscheibe ab, so wird die Kugel von den Strahlen einseitig getroffen und dreht sich in der Luft (Fig. 62, XXII). Endlich soll uns die Spule noch einen Salto mortale zeigen. Ich lege einen Metallring darüber und schließe den Stromkreis (Fig. 63, XXII). Wie hoch springt er wohl? Bis an die Decke des Saales!

Es sind Wirkungen der elektrischen und magnetischen Schwingungen, die wir gesehen haben. Sie waren aber nicht allzu weittragend, wir mußten in der Nähe der Primärstation bleiben, um sie nachzuweisen. Das liegt an der Länge der Wellen, die wir erzeugten, sie betrug im vorliegenden Fall 3000 km, hatten wir hier einen Wellenberg, so war der nächste etwa in Kamerun oder am Nordpol. Welch ein Unterschied gegen die Wellen des sichtbaren Lichts, von denen rund 600 Millionen auf 1 mm gehen. Und dennoch erreicht uns die Lichtwirkung selbst aus der unermeßlichen Ferne der Milchstraße.

Künstliche Blitze, welche wir erzeugen, geben uns einen Fingerzeig. Die Erschütterungen des Äthers erfolgen dabei so schnell, die Wellenlängen sind so kurz, nur wenige Meter, daß wir sie in den Räumen des Laboratoriums messen können. Es ist die Großtat eines deutschen Gelehrten, Heinrich Hertz, dem dies zuerst gelang.

Die Maschine, mit welcher wir so schnelle elektrische Schwingungen hervorrufen, brauchten wir nicht zu erfinden. Die Natur stellt sie uns zur Verfügung in dem elektrischen Funken. Wenn wir die beiden ungleichnamigen Elektrizitäten in Spannung versetzen, so haben sie das Bestreben, sich in stürmischer Umarmung zu vereinigen. In feuriger Glut mit Blitz und Knall bricht die elementare Leidenschaft sich Bahn und zieht gleichsam wie ein vulkanischer Ausbruch weite Kreise in Mitleidenschaft. Aber wie eine starke Gemütsbewegung im menschlichen Herzen, so zittert auch hier die elektrische Erregung im Funken nach in der

Digitized by Google

Form von schwingenden Strömen mit abnehmender Intensität. Diese pendeln mit einer erstaunlichen Frequenz, millionenmal in einer Sekunde. Dem Auge sind diese schnellen Schwingungen nicht direkt wahrnehmbar, wir sehen nur einen einzigen leuchtenden Funken.

Von dem wirklichen Vorhandensein elektrischer Schwingungen können wir uns aber überzeugen, wenn wir den Funken durch eine berußte Pappscheibe schlagen lassen, welche mit großer Geschwindigkeit rotiert. Die einmalige Funkenentladung durchbohrt die Scheibe in mehreren nebeneinanderliegenden Löchern (Fig. 64, XXIII). Aus der Geschwindigkeit der Scheibe und dem Abstand der Durchbohrungen können wir die Entladungsfrequenz berechnen, sie beträgt im vorliegenden Experiment rund 1 Million in der Sekunde. Wir messen damit gleichsam den Herzschlag des Funkens.

Wie jede vulkanische Eruption ihre Wellen schlägt, so wird auch von jeder elektrischen Vibration das Äthermeer in Wellenbewegung versetzt, welche die Wirkung weiterträgt durch die Räume des Weltalls. Der ungeheuren Frequenz entspricht eine Wellenlänge, die wir nach Metern beziffern können. Wir bezeichnen sie als Hertzsche Wellen. Da sie sich den Lichtwellen nähern, so ist ihre Fernwirkung größer als die der früher betrachteten langen Wellen.

Heinrich Hertz hat den experimentellen Nachweis erbracht, daß wir es bei der Fortpflanzung der elektrischen Kraft durch den Raum tatsächlich mit Wellenerscheinungen zu tun haben und daß die unsichtbaren elektrischen Wellen genau die gleichen Naturgesetze befolgen, wie die sichtbaren Wellen des Lichts. Zum Beweise wollen wir ein bekanntes Lichtexperiment mit elektrischen Strahlen wiederholen: Die Konzentration der Strahlen durch eine Glaslinse. Ich erzeuge dazu elektrische Wellen von kleinstmöglicher Länge, indem ich einen Funken zwischen zwei winzigen Zinkstäbchen in einem mit Petroleum gefüllten undurchsichtigen Behälter übergehen lasse (Fig. 65, XXIII). In den Weg der Funkenstrahlen bringe ich das hochempfindliche Thermoelement, mit dem wir vorhin die minimalsten Wirkungen der Wärme nachweisen konnten. Die Verwendung ist hier eine indirekte: mit dem Thermoelement habe ich zwei kleine Metall-

Digitized by Google

flügel verbunden, die zum Auffangen der elektrischen Strahlung dienen und dadurch an der Lötstelle eine Wärmewirkung hervorrufen. Diese wiederum erzeugt in einem angeschlossenen Kreise elektrische Ströme, die das eingeschaltete Galvanometer uns an seinem wandernden Lichtfleck erkennen läßt. Lassen wir zunächst die elektrische Strahlung direkt wirken: wir beobachten einen kleinen Ausschlag des Lichtflecks. Sowie ich aber eine Glaslinse von bestimmten Dimensionen in den Weg der Strahlung schiebe, vergrößert sich der Ausschlag beträchtlich. Ersetze ich die Glaslinse durch eine gleich große aus schwarzem Pech, so gelingt der Versuch in derselben Weise. Eine dazwischen geschobene Metallplatte dagegen vernichtet sofort den Effekt, sie ist undurchlässig für die elektrische Strahlung. Bemerkenswert ist das Verhalten des Holzes. Halte ich es so, daß die Fasern in der Richtung der Bewegung des Äthers, so absorbieren sie die Strahlung, senkrecht dazu lassen sie die elektrischen Wellen dagegen frei passieren, wie der Ausschlag des Lichtflecks anzeigt.

Aus diesen und anderen Experimenten können wir nur einen Schluß ziehen: daß Licht und elektrische Strahlung, ebenso wie die strahlende Wärme verwandte Naturerscheinungen sind, die sich nur quantitativ voneinander unterscheiden. Sie pflanzen sich mit gleicher Geschwindigkeit fort durch den Wellenschlag einer unbekannten Flüssigkeit, die das Äthermeer des Weltalls mit ihren Fluten erfüllt.

Werden wir diese hypothetische Flüssigkeit je mit unseren Sinnen wahrnehmen können, etwa durch Konzentration? Werden wir je ihre Erzeugung lernen? Nicht völlig hoffnungslos steht die Wissenschaft vor diesem Rätsel. Wir brauchen aber darum nicht zu besorgen, daß die Forschung in ihren letzten Zielen einer rein mechanischen Weltanschauung zustrebt. Im Gegenteil, nur um so eindringlicher und überzeugender lehrt sie uns die große Wahrheit, daß jenseits der sinnlich wahrnehmbaren Welt, durchflutet von Ätherwellen, noch eine zweite bestehen muß, durchweht von göttlichem Hauch, eine Welt des Denkens und Fühlens, zu welcher eine Brücke zu schlagen der Wissenschaft niemals gelingen

Digitized by Google

wird. Jedes tiefere Eindringen in dieselbe enthüllt uns neue wunderbare Gesetze der Harmonie.

Unsere Betrachtung hat gezeigt, daß zwischen Naturerscheinungen, die wir früher als gänzlich unabhängig voneinander anzusehen gewohnt waren, zwischen Licht, Wärme und Elektrizität ein gemeinsames Band besteht, das alle umschlingt mit den sichtbaren und unsichtbaren Strahlen des Spektrums. Unsere flüchtige gemeinsame Wanderung heute abend war somit eigentlich nur ein Spaziergang durch einen Sonnenstrahl, von dem ich hoffen möchte, daß er nicht allzusehr ermüdet hat.

Digitized by Google

5.

Die Anfänge der Funkentelegraphie.

(1897.)

Als der Breslauer Astronom Galle im Jahre 1846 den Planeten Neptun entdeckte, dessen Vorhandensein kurze Zeit zuvor Leverrier in Paris aus den Uranusstörungen berechnet hatte, feierte man diese Tatsache als einen Sieg der Wissenschaft. Ähnliche nicht minder glänzende Erfolge hat die Lehre von der Elektrizität in den letzten 50 Jahren aufzuweisen.

Aus rein wissenschaftlichen Erwägungen leitete William Thomson die Gesetze ab, nach denen die Entladung einer Leydener Flasche, sowie überhaupt zweier mit Elektrizität geladener Körper vor sich geht. Bis dahin hatte man in solcher Entladung einen einfachen Übergang der Elektrizität von einem Körper zum anderen erblickt und die von einem knallenden, glänzenden Funken begleitete Erscheinung kaum für merkwürdiger gehalten als alle übrigen elektrischen Vorgänge. Von den damals üblichen Vorstellungen ausgehend, bewies nun Thomson durch Rechnung, daß unter gewissen Bedingungen diese Entladung eine schwingende sein muß, derart, daß dem ersten Übergang von Elektrizität zahllose andere folgen in wechselnder Richtung und mit abnehmender Stärke. Die ganze Erscheinung spielt sich mit einer so ungeheuren Geschwindigkeit ab, daß dem Auge das Hin- und Herwogen der elektrischen Kräfte verborgen bleibt, dieses vielmehr nur den Eindruck eines einzigen Funkens als Gesamtergebnis aufzunehmen vermag. Kurze Zeit darauf konnte Feddersen durch den berühmten Versuch mit rotierenden Spiegeln den bestimmten Nachweis liefern, daß die rechnerischen Folgerungen Thomsons der Wirklichkeit entsprachen.

Von nicht geringerer Bedeutung wurden Betrachtungen, welche ein anderer Physiker, Maxwell, bald darauf anstellte.

Digitized by Google

Zurückgehend auf die eigenartige Deutung der elektrischen und magnetischen Erscheinungen durch Faraday zeigte er, daß dieselbe bei mathematischer Entwicklung und Vertiefung zu einer überraschenden Erklärung des Wesens und der Ausbreitung elektrischer Erscheinungen führt. Er gelangte zu der Vorstellung, daß von einem elektrischen Funken Kräfte ausgehen, welche sich mit den Kennzeichen von Wellenbewegungen und mit der Geschwindigkeit des Lichts nach allen Richtungen in den Raum verbreiten. Als Träger der Wellenbewegung vermutete er denselben Stoff, den man bereits zur Erklärung der Fortpflanzung des Lichts herangezogen hatte, den Äther, und seine Lehre gipfelte in der Behauptung, daß das Licht selbst eine elektromagnetische Erscheinung sei, daß Licht und elektrische Strahlen dieselben Grundgesetze befolgen. Es ist bekannt, wie unser großer Landsmann Heinrich Hertz am Ende der 80er Jahre durch entscheidende Versuche die Richtigkeit dieser bis dahin nur rechnerisch begründeten Folgerungen nachwies.

Es ist nicht Aufgabe dieses Vortrages, auf die rein wissenschaftliche Bedeutung dieser Tatsachen näher einzugehen, es ist vielmehr die erste technische Verwendung der neuen Erkenntnis, welche ich Ihnen teils durch Bericht, teils durch Versuch vorführen möchte.

Mit dem Eintreten der Technik in dieses für sie durchaus neue Gebiet wiederholt sich eine Erscheinung, die wir schon häufig beobachtet haben. Ohne die streng wissenschaftliche Grundlage wäre sie nicht imstande gewesen, die wertvolle Nutzanwendung zu machen, die uns heute beschäftigen soll. Anderseits hat sie aber sofort mit ihren größeren Mitteln so durchaus neue Erscheinungen hervorgerufen, daß der Wissenschaft ein weites Arbeitsfeld sich öffnet. Ich habe als Techniker nicht die Absicht eine vorzeitige Erklärung zu versuchen; desto mehr werde ich aber bestrebt sein, die Erscheinungen selbst und die Mittel zur Hervorrufung derselben möglichst eingehend zu beschreiben.

Heinrich Hertz hat zuerst die Einrichtungen angegeben, mit denen man die von einer Funkenstrecke ausgehenden Strahlen elektrischer Kraft nachweisen kann. Er bediente sich dazu der so-

Digitized by Google

genannten Resonatoren (Fig. 66, XXIII). Das sind offene Drahtkreise, deren Enden mit kleinen polierten Messingkugeln versehen sind; durch eine isolierte Stellvorrichtung läßt sich der Luftraum zwischen den Kugeln auf geringe Bruchteile eines Millimeters genau einstellen. Bringt man nun einen solchen Resonator in den Weg der elektrischen Strahlen, so wird darin ein elektrisches Mitklingen geweckt, das sich durch Überspringen von Funken an der Unterbrechungsstelle kundgibt, in ähnlicher Art, wie etwa durch Schallwellen eine Stimmgabel zum Mittönen gebracht wird. Ich muß darauf verzichten, Ihnen den Versuch vorzuführen. Die Funken, welche man am elektrischen Mittöner erzielt, sind zu winzig, als daß sie von allen gesehen werden könnten.

Ich wähle ein stärkeres Mittel, um Sie von der Ausbreitung der elektrischen Kräfte durch den Raum zu überzeugen.

Die Natur als Funkenerzeugerin zeigt uns nur weit auseinanderliegende Grenzen. Von dem leisen Knistern, das Sie an kalten Wintertagen vernehmen, wenn Sie im geheizten Zimmer mit einem Gummikamm durch die Haare fahren, bis zu dem Zucken gewaltiger Blitze ist ein ungeheurer Sprung — und doch ist beides die gleiche Erscheinung, von beiden gehen die gleichen unsichtbaren Kräfte aus. Für unsere Zwecke bedienen wir uns einer künstlichen Funkenerzeugung, deren Stärke eine maßvolle Mitte hält zwischen den Äußerungen der Natur. Die Klemmen eines Induktionsapparates von der Ihnen wohlbekannten Bauart verbinden wir mit vollen Messingkugeln, die durch kräftige Ebonitplatten in geeignetem Abstand gehalten werden. Bei Ingangsetzung des Induktoriums erhalten wir eine ununterbrochene Folge von dicken weißglänzenden Funken, deren Ausstrahlungskraft wir vergrößern, wenn wir den Funkenraum mit Öl anfüllen. Bei dem vorliegenden Apparat (Fig. 67, XXIV) geschieht dies mit Hilfe eines Zylinders aus Pergamentpapier, der die inneren Kugelhälften umspannt. Nach einem zuerst von Righi befolgten Verfahren verbinden wir ferner die Kugeln nicht direkt mit den Klemmen des Induktoriums, sondern laden sie vermittelst kleinerer Kugeln, die den äußeren Kugelhälften in passendem Abstand gegenübergestellt sind. Die Pergamenthülle verdeckt Ihnen den wirksamen Funken, doch hören

Digitized by Google

Sie deutlich das eigentümliche Geräusch beim Durchbrechen des Öles. Wir wollen dieses Gerät einen Strahlapparat nennen, denn von ihm gehen die Strahlen elektrischer Kraft aus. Wir alle werden davon getroffen; wir merken es nur nicht, weil unserem Körper die Fähigkeit des Mittönens fehlt. Hätten wir metallische Glieder, so wäre das wohl anders.

Ich bediene mich nun eines einfachen Mittels, um die Ausbreitungsfähigkeit der elektrischen Kräfte wesentlich zu verstärken. Dies Mittel wird uns heute abend noch häufig beschäftigen, es bildet das eigentlich Neue der vorzuführenden Versuche. Dünne Drähte sind es, einige Meter lang, die ich von den Speisekugeln des Strahlapparates, Pole wollen wir sie nennen, nach beiden Seiten isoliert ausspanne. Sie wirken wie das durchlöcherte Rohr eines Sprengwagens, aus ihnen spritzen gleichsam die Strahlen elektrischer Kraft nach allen Seiten senkrecht zum Draht, sie ziehen einen größeren Teil des Raumes in Mitleidenschaft.

Zum Nachweis der Ausbreitung der elektrischen Kräfte benutze ich eine Bogenlampe dort hinten im Saal; ich will sie von hier aus entzünden. Die Bogenlampe selbst ist ihrer regelnden Einrichtung entkleidet. Die gegenüberstehenden Kohlen sind mit den Polen einer Akkumulatorenbatterie verbunden; solange sie sich nicht berühren, ist der Stromkreis unterbrochen. Im vorliegenden Fall bilden sie einen Mittöner für die elektrischen Strahlen, sie werden zum Mitklingen oder richtiger zum Mitsprühen veranlaßt. Dadurch schließt sich die Brücke für den elektrischen Gleichstrom und die weißerglühenden Kohlenspitzen spenden ihr herrliches Licht. Um den Erfolg zu sichern, verbinde ich die beiden Kohlen mit ähnlichen dünnen Drähten, wie den Strahlapparat. Ich bilde gleichsam Fangarme für die elektrischen Strahlen, Saugerüssel oder Fühlhörner (Antennen). Jetzt lasse ich den Strahlapparat spielen — Sie sehen die Lampe sofort in Tätigkeit treten.

Mit dem einfachen Mittel des Resonators hat Heinrich Hertz die Gesetze erforscht, welche die Ausbreitung elektrischer Kräfte befolgt. Der merkwürdigste seiner Versuche zeigt, daß die elektrischen Strahlen von einer Metallwand zurückgeworfen werden, ähnlich wie das Licht von einer spiegelnden Fläche.

Digitized by Google

Es gelang ihm dadurch der Nachweis der Wellenart der Erscheinung.

Zur Erläuterung will ich ein Beispiel heranziehen, das mit der Elektrizität nichts zu tun hat, das aber eine Wellenbewegung sichtbar macht. Denken wir uns eine endlose dehnbare Schnur gradlinig ausgespannt und erteilen wir dem einen Ende etwa durch Schlag eine Erschütterung, so pflanzt sich dieselbe in Form einer Welle an der Schnur fort. Eine ähnliche Erscheinung beobachten wir, wenn eine ruhende Wasserfläche durch einen Steinwurf in Wallung gerät. In ringförmigen Wellen verbreitet sich die Bewegung nach allen Richtungen vom Ausgangspunkt der Störung. Die Beobachtung eines auf dem Wasser schwimmenden Korkens lehrt uns, daß die einzelnen Wasserteilchen selbst an der nach außen strebenden Bewegung nicht teilnehmen, sondern nur auf- und niedersteigen. Bald sind sie auf einem Wellenberg, bald in einem Wellental. Die gleiche Bezeichnung hat man hinübergenommen auf die Ausbreitung der Störungskraft in einem geradlinigen Mittel, wie beispielsweise unserer Schnur. Auch hier ist deutlich zu erkennen, daß die einzelnen Teile derselben sich nicht in der Richtung der fortschreitenden Welle bewegen, sondern senkrecht dazu nur auf- und niedersteigen. Man bezeichnet solche Wellen darum als Querwellen im Gegensatz zu den Längswellen, wie sie z. B. bei dem Schall auftreten, der seine Wirkungen weiterpflanzt durch Verdichtungen und Verdünnungen des schalltragenden Mittels. Hierbei bewegen sich also die einzelnen Teile des Mittels etwa in der Luft, in Richtung der fortschreitenden Wellenbewegung hin und her.

Durch überzeugende Versuche hat man bekanntlich nachgewiesen, daß das Licht durch Querschwingungen eines unbekannten Mittels, Äther genannt, sich weiterpflanzt. Den gleichen Nachweis hat Hertz für die elektrischen Kräfte erbracht, die von einer Funkenstrecke mit wechselnder Entladung ausgehen. Die Anordnung seines Versuches läßt sich mit wenigen Worten schildern.

Ich lenke Ihre Aufmerksamkeit auf die schwingende Schnur zurück. Wir haben sie bisher als außerordentlich lang vorausgesetzt und nur das Wandern der Welle vom Störungspunkte aus be-

Digitized by Google

trachtet. Am anderen Ende ist aber die Schnur, mag sie noch so lang sein, wiederum befestigt. Die dort ankommenden Wellen verschwinden nicht, sie wandern wieder zurück, sie werden zurückgeworfen. Jedes Schnurteilchen erhält nun Bewegungen von beiden Wellenarten, von den hinlaufenden und den zurücklaufenden. Sind die Kräfte an einer Stelle gleichgerichtet, so verstärken sie die Bewegung, bei ungleicher Richtung vermindern sie dieselbe. Es treten Stellen auf, wo die Kräfte sich zu einem Höchstbetrag verstärken, dort muß das Schnurteilchen die größten Querschwingungen machen, an anderen wieder kommt die Querbewegung fast völlig zur Ruhe. Nach einiger Zeit bildet sich ein Zustand aus, den man als stehende Schwingung bezeichnet.

Wenn man geschickt ist, kann man dies mit einer am Ende befestigten Schnur, deren anderes Ende die Hand hält, zeigen. Ich verlasse mich lieber auf künstliche Hilfsmittel.

An dieser senkrechten Latte ist ein Platindraht ausgespannt (Fig. 68, XXIII), dessen oberes Ende festgeklemmt ist, während der untere Befestigungspunkt an der Zinke einer Stimmgabel sitzt, die durch elektrische Hilfsmittel erregt werden kann. Dabei wird das untere Ende des Drahtes in lebhafte Erschütterung versetzt, die sich nach oben fortpflanzt und am Befestigungspunkt zurückgeworfen wird. Es bilden sich stehende Wellen aus, die wir sichtbar machen können, indem wir einen starken elektrischen Strom durch den Draht senden. Die Ruhepunkte, Knotenpunkte genannt, werden sich bis zur Rotglut erhitzen, die stark bewegten Stellen dagegen, die Bäuche, werden durch die Luft gekühlt und bleiben dunkel. Zur besseren Beobachtung wollen wir den Saal verdunkeln. Sie werden jetzt deutlich 4 Knotenpunkte erkennen. Die bleibende Entfernung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Knotenpunkten *a b* (Fig. 68, XXIII) ist die halbe Länge der Welle, denn von *a* bis *c* ist die hinlaufende Welle um ihre ganze aus Wellental und Wellenberg bestehende Länge vorgeschritten. Die Zeit, welche verstreicht, bis jedes Drahtteilchen einmal seine volle Querschwingung ausgeführt hat, nennt man die Schwingungszeit und die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde die Schwingungszahl.

Wir können diese Tatsachen an dem Apparat mit unseren

Digitized by Google

Augen deutlich erkennen. Nehmen wir aber einmal an, wir wären blind und nur mit Gefühl begabt, so könnten wir uns dennoch von der Eigentümlichkeit der Erscheinung überzeugen. Wir brauchten nur den Finger in die Nähe des Drahtes zu halten. Die Bäuche würden wir deutlich fühlen durch Stöße, an den Knotenpunkten würden wir uns dagegen verbrennen. Indem wir nun diese Stellen durch das Gefühl aufsuchen, können wir nicht nur den Schluß ziehen, daß Wellenbewegungen eines uns unsichtbaren Mittels, Draht genannt, vorhanden sind, wir können sogar die Entfernung der Knotenpunkte und damit die Länge der Wellen ermitteln. Sogar die Feststellung der Schwingungszahl durch Abzählung der Stöße wäre nicht undenkbar.

Genau das Entsprechende hat Hertz getan bei der Untersuchung elektrischer Wellen. Er richtete die von einer Funkenstrecke ausgehenden unsichtbaren Strahlen elektrischer Kraft gegen eine Metallwand. Dort wurden sie zurückgeworfen. Indem er nun seinen Resonator, gleichsam als einen tastenden Finger, an verschiedene Stellen des Strahlenweges brachte, konnte er Orte festlegen, wo er am lebhaftesten ansprach und solche, an denen er fast völlig versagte. Mein Kollege, Herr Professor Rubens, hat sogar durch feinere Meßmethoden die Größe des elektrischen Stoßes für jede Stelle ermittelt und gesetzmäßige Zu- und Abnahme gefunden. Damit ist aber die Wahrscheinlichkeit zur Gewißheit geworden, daß die Strahlen elektrischer Kraft das Merkmal einer Wellenerscheinung tragen ebenso wie die Strahlen des Lichts.

Doch noch mehr. Betrachten wir die Geschwindigkeit, mit der eine Wasserwelle vom Ausgang der Störung fortschreitet. Die Störung selbst hat sich um eine Wellenlänge fortgepflanzt, wenn ein Wasserteilchen einmal auf und nieder geschwankt ist. Beträgt die Anzahl dieser Schwingungen n pro Sekunde und die Länge einer Welle l, so ist $n\,l$ der Weg, um den die Störung in 1 Sekunde sich fortpflanzt, also die Wanderungsgeschwindigkeit der Welle.

Genau so liegen die Verhältnisse bei den elektrischen Wellen. Nun kann man nach den eingangs erwähnten Rechnungen Thomsons aus den Abmessungen des funkenerzeugenden Ap-

Digitized by Google

parates die Anzahl der wechselnden Entladungen ermitteln, welche in 1 Sekunde erfolgen, man kennt mithin die Anzahl der Stöße in 1 Sekunde, d. h. die Schwingungszahl. Stellt man ferner, wie Hertz es getan, die Wellenlänge durch Tastversuche mit dem Resonator fest, nachdem man die Wellen durch Zurückwerfen in stehende verwandelt, so sind alle Mittel gegeben zur Berechnung der Geschwindigkeit, mit welcher eine elektrische Störung, ein elektrischer Anstoß, sich durch den Raum nach allen Richtungen hin verbreitet. Hertz fand mit großer Annäherung die Lichtgeschwindigkeit 300000 km in 1 Sekunde.

Diese Geschwindigkeit ist eine so ungeheure, daß wir nicht daran denken können, die Wanderung der elektrischen Kraft unseren Augen wahrnehmbar zu machen. Professor Silvanus Thompson in London zeigte mir ein reizendes Modell, in welchem er mit rein mechanischen Mitteln die Wanderung einer Ätherwelle veranschaulicht. Er hatte die Freundlichkeit, ein solches für mich anfertigen zu lassen (Fig. 69, XXIV). Den Strahlapparat stellen zwei schwere Messingplatten dar, welche an Fäden hängen und eine bestimmte, verhältnismäßige große Schwingungszeit besitzen. Der „Resonator" ist ein unterbrochener Messingkreis und hängt gleichfalls an Fäden. Beide können durch Kürzung oder Verlängerung der Schnur so geregelt werden, daß sie gleiche Schwingungszeiten besitzen.

Zur Darstellung des wellentragenden Mittels, des Äthers, dienen kleine Bleikugeln, welche in gleicher Weise an V-förmigen Fäden hängen. Die aufeinanderfolgenden Fäden überkreuzen sich, so daß keine Kugel schwingen kann, ohne etwas von ihrer Bewegung dem Nachbar mitzuteilen. Setzt man den Strahlapparat in Bewegung, so erteilt er den Kugeln Querschwingungen, die sich längs der Kugelreihe langsam fortpflanzen. Man kann sie deutlich mit dem Auge verfolgen und sieht, wie sie nach einiger Zeit zum Resonator gelangen und diesen zum Mitschwingen veranlassen. Ebenso stellt man sich heute die Fortpflanzung der elektrischen Kräfte durch den Äther vor.

Zum Schlusse dieser physikalischen Einleitung noch eine kurze Bemerkung. Aus optischen Untersuchungen weiß man,

Digitized by Google

daß die einfarbigen Strahlen, in welche das weiße Licht durch Brechung sich zerlegt, verschiedene Wellenlängen besitzen. Die größte Wellenlänge besitzt das rote Licht mit 0,8 Mikron (1 Mikron ist der tausendste Teil eines Millimeters); sie verringert sich nach dem violetten Teil des Spektrums, dort beträgt die Wellenlänge nur etwa 0,4 Mikron. Umgekehrt verhalten sich die Schwingungszahlen, beim roten Licht erfolgen 400 Billionen Schwingungen in 1 Sekunde, beim violetten Licht dagegen 800 Billionen. Die bis jetzt bekannten Wellenlängen elektrischer Strahlen schwanken in der Größenordnung zwischen Zentimetern und Kilometern, ihre Schwingungszahlen betragen nur wenige Millionen in der Sekunde. Sie ordnen sich also in den ultraroten Teil des Spektrums ein. In dem äußersten ultravioletten Teil des Spektrums vermutet man bekanntlich die Röntgenstrahlen. Die letzten Jahre der physikalischen Forschung bedeuten also einen kühnen Vorstoß in die Grenzgebiete der Natur. Wer will sagen, ob und wo wir das Ende erreichen. Beide Untersuchungsergebnisse der reinen Forschung haben sofort wichtige Anwendungen gefunden zum Nutzen der Menschheit.

Es würde mich von dem eigentlichen Gegenstande meines Vortrages zu weit entfernen, wollte ich der schönen Versuche gedenken, durch welche Hertz und seine Nachfolger bewiesen haben, daß die elektrischen Strahlen ebenso wie die Lichtstrahlen die Gesetze der Brechung, der Interferenz und der Polarisation befolgen. Soweit dies überhaupt möglich ist, haben sie uns die Gewißheit verschafft, daß Licht und elektrische Strahlen Erscheinungen gleicher Art sind, die sich nur durch Größenverhältnisse voneinander unterscheiden.

Die Netzhaut des Auges ist das empfindliche Instrument, das uns die Wahrnehmung der Lichtstrahlen ermöglicht; in entsprechender Weise dürfen wir nunmehr die Apparate, welche die Wirkungen der elektrischen Strahlen zeigen, elektrische Augen nennen. Der Hertzsche Resonator ist ein recht unvollkommenes Auge, es ist schwach und kurzsichtig, nur die blendendsten Wirkungen der elektrischen Strahlen können wir damit erkennen und den Helligkeitsgrad derselben, wenn ich mich so ausdrücken darf, nur annähernd schätzen. Heute verfügen wir über eine statt-

Digitized by Google

liche Zahl hochempfindlicher elektrischer Augen, mit denen die Stärke der Wirkung genau gemessen werden kann.

Das allerempfindlichste derselben stellt sich dar als eine sinnreiche Verbesserung des Hertzschen Resonators. Das Kennzeichen des letzteren war die Unterbrechung einer metallischen Leitung durch eine Luftstrecke von außerordentlich geringer Größe. Die Wirkung einer elektrischen Bestrahlung äußerte sich in dem Auftreten sichtbarer Funken. Wir mußten also unser menschliches Auge zu Hilfe nehmen oder mit anderen Worten, wir bewirkten eine Umsetzung der von der Funkenstrecke ausgehenden elektrischen Strahlung in Lichtstrahlung. Wir können aber auch andere Hilfsmittel heranziehen, um die unendlich kleinen Funken zu erkennen, wenn das Auge versagt. Die empfindlichsten Mittel sind immer die elektrischen; wir wählen einen elektrischen Gleichstrom, dessen geringste Spuren durch Galvanometer nicht bloß erkannt, sondern auch gemessen werden können.

Denken Sie sich die metallischen Knöpfe eines Hertzschen Resonators so weit genähert, daß der verbleibende Luftzwischenraum selbst mit den feinsten optischen Mitteln nicht mehr erkennbar ist, dennoch braucht eine völlige metallische Berührung noch nicht zu bestehen. Schalten wir nun in den Drahtkreis des Resonators (Fig. 70, XXIII) eine kleine galvanische Batterie, etwa ein Trockenelement von geringer elektromotorischer Kraft und ein hochempfindliches Galvanometer, so wird, so lange der Stromkreis an den Kugeln unterbrochen ist, die Nadel des Galvanometers in Ruhe verharren. Wirkt aber eine elektrische Strahlung auf den Kreis, so durchzittern denselben in elektrischer Resonanz die elektrischen Wellen, für welche der Luftzwischenraum keine Sperrung bildet, gleichsam wie eine Wasserwelle in Milliarden von Stäubchen über ein Hindernis spritzt. So spritzen sie hier in der Form von feinen Fünkchen hinüber und wenn auch den schärfsten optischen Hilfsmitteln verborgen, sind sie dennoch für einen Augenblick vorhanden und füllen, wie jeder Funke, den Luftraum mit Metalldämpfen an. Diese leiten den Gleichstrom und schließen den Kreis; die Folge ist ein deutlicher Ausschlag der Galvanometernadel. Entweder schwingt nun die Nadel nach beendigter Strahlung zurück, dann hat sich

Digitized by Google

der isolierende Luftzwischenraum von selbst wieder hergestellt, und das elektrische Auge ist bereit, auf eine neue Strahlung anzusprechen, oder — und das ist der gewöhnliche Fall — geringe Stäubchen des nach der Verdampfung wieder verdichteten Metalles füllen den Luftraum und bilden eine metallische Brücke; dann ist der Ausschlag des Galvanometers ein bleibender. Doch die geringste Erschütterung bringt diese lose Brücke zum Einsturz und unterbricht die metallische Berührung.

Diese zwanglose Erklärung eines verschärften elektrischen Auges aus den Eigenschaften des Hertzschen Resonators trifft auch auf dasjenige Auge zu, welches Marconi benutzt, um mit Hilfe elektrischer Strahlen auf weite Entfernungen zu telegraphieren. Es ist indessen üblich, den Entwicklungsgang auf eine andere Ausgangsquelle zurückzuführen.

Im Jahre 1890 entdeckte Branly eine eigentümliche Eigenschaft loser in einer Glasröhre übereinander geschichteter Metallkörner, wie Eisen-, Kupfer- oder Messingfeile. Eine solche Röhre bietet dem Durchgang eines elektrischen Stromes einen unüberwindlichen Widerstand, so daß man dieselbe mit metallischen Anschlußplatten oder darin gebetteten gutleitenden Kugeln an die Pole einer galvanischen Batterie anschließen kann, ohne einen Strom zu erhalten. Zum Nachweis dieser Wirkung schaltete Branly ein empfindliches Galvanometer in denselben Stromkreis. Sobald aber diese Röhre von elektrischen Strahlen getroffen wird, leitet sie den Gleichstrom und das Galvanometer erfährt einen Ausschlag. Eine leise Erschütterung der Röhre nach erfolgter Bestrahlung stellt den unendlichen Widerstand wieder her. Fig. 71, XXIII zeigt eine solche Einrichtung, bei der die Metallfeile durch lose übereinander geschichtete eiserne Nägel ersetzt sind.

Wir können auch hier die Erklärung auf den Hertzschen Resonator zurückführen. An die einzelne Unterbrechungsstelle treten die zahllosen Berührungsstellen des Metallfeilichts mit unreiner isolierender Oberfläche. Die Bestrahlung ruft in dem Stromkreis eine elektrische Erzitterung hervor und zahllose unsichtbare Fünkchen an den Unterbrechungsstellen bewirken die metallische Berührung.

Digitized by Google

Für diese einfache Erklärung spricht auch der Umstand, daß mit Metallen, deren Oberfläche leichter und dauernder metallisch bleibt, wie Platin, Gold und Silber, die Wirkung nicht so gut zu erzielen ist. Vorzüglich eigenen sich dagegen Metalle wie Kupfer, Messing, Aluminium, Eisen und Nickel, deren Oberflächen bekanntlich nur auf kurze Zeit metallisch rein zu halten sind. Mit Kohlenkörnern oder Kohlenpulver ist die Wirkung unsicher, was dagegen spricht, die Erscheinung als eine rein mikrophonische zu erklären.

Lodge scheint zuerst solche Röhren als elektrische Augen zum Studium Hertzscher Strahlen benutzt zu haben. In seinem fesselnden Buche „The Work of Hertz and some of his successors" beschreibt er verschiedene Einrichtungen dieser und ähnlicher Art, welche er schon 1889 benutzt hat. Von ihm stammt auch der Name „coherer", den er von cohere, Kohärieren, abgeleitet hat, weil durch elektrische Bestrahlung eine innigere Verbindung des Metallfeilichts, gleichsam eine Kohäsion bewirkt wird. Man hat für deutschen Gebrauch das häßliche Wort „Kohärer" (richtiger wäre Kohärierer) gebildet, das man wohl gerne wieder verschwinden sähe. Reuleaux hat für Kohärieren das Wort „Fritten" vorgeschlagen. Man bezeichnet damit in der Technik einen Vorgang, bei dem lose pulverförmige Massen durch oberflächliche Schmelzung zum Zusammenhängen gebracht werden. Das trifft hier vollkommen zu und man würde den „coherer" zweckmäßig als „Fritter" oder „Frittröhre" verdeutschen können. Lodge ist wohl auch als Vater des Gedankens anzuführen, mit elektrischen Strahlen und solchen Röhren zu telegraphieren; er bezeichnet aber als äußerste erreichbare Entfernung eine halbe englische Meile (800 m), ohne dies indes praktisch erprobt zu haben*).

*) Im Electrician (1. Okt. 1897) ist auch auf eine Äußerung von Sir William Crookes hingewiesen worden. Dieselbe findet sich in einem Aufsatz „Some Possibilities of Electricity" in Fortnightly Review, Februar 1892, und ist sehr interessant, weshalb ich sie hier mitteile.

„Ob längere Ätherwellen, welche das Auge nicht mehr wahrnimmt, ununterbrochen um uns her in Tätigkeit sind, haben wir bis vor kurzem niemals ernstlich erforscht. Aber die Untersuchungen von Lodge in England und Hertz in Deutschland offenbaren uns eine fast unbegrenzte Fülle von Äthererscheinungen oder elektrischen Strahlen, deren Wellenlängen Tausende

Digitized by Google

Die Nachricht, daß Marconi diese Telegraphie auf meilenweite Entfernung praktisch durchgeführt habe, gelangte am Anfang dieses Jahres zu uns. Wer den Tatsachen, zu welchen das Studium der Hertzschen Strahlen führte, aufmerksam gefolgt war, der wußte, daß den Zeitungsberichten ein gut Stück Wahrheit zugrunde lag.

---

von Meilen bis zu wenigen Fußen betragen. Hier öffnet sich uns eine neue, staunenerregende Welt, von der wir schwerlich annehmen können, daß sie nicht auch die Möglichkeit der Übertragbarkeit von Gedanken enthalten sollte. Lichtstrahlen dringen nicht durch eine Mauer, auch nicht durch einen Londoner Nebel, wie wir alle nur zu gut wissen. Aber elektrische Wellen von 1 m Länge oder mehr werden solche Stoffe leicht durchsetzen; dieselben werden für sie durchsichtig sein. Es ergibt sich hier die fesselnde Möglichkeit einer Telegraphie ohne Drähte, ohne Pfähle, ohne Kabel, ohne das ganze kostspielige Beiwerk. Setzen wir die Erfüllbarkeit weniger vernünftiger Forderungen voraus, so rückt die Frage durchaus in den Bereich der Möglichkeit. Wir können heute Wellen von jeder gewünschten Länge erzeugen, von wenigen Fußen an aufwärts, und eine Aufeinanderfolge von solchen nach allen Richtungen des Raumes ausstrahlenden Wellen erhalten. Es ist auch, wenn nicht bei allen, so doch bei einigen dieser Strahlen möglich, sie durch geeignet geformte als Linsen wirkende Körper zu brechen und so ein Bündel von Strahlen nach irgendeiner gegebenen Richtung zu werfen; große linsenförmige Massen aus Pech und ähnlichen Stoffen hat man für diesen Zweck benutzt. Auch könnte man in der Ferne einige, wenn nicht alle dieser Strahlen mit besonders eingerichteten Apparaten auffangen und durch verabredete Zeichen in Morseschrift einem anderen übermitteln ... Zwei Freunde, die innerhalb der Übertragungsgrenze ihrer Empfänger leben, könnten ihre Apparate auf spezielle Wellenlängen abstimmen und, so oft es ihnen gefällt, durch lange und kurze Strahlung in den Zeichen der Morseschrift miteinander verkehren. Auf den ersten Blick würde man gegen diesen Plan den Einwand erheben, daß die Mitteilungen nicht geheim zu halten seien. Nehmen wir an, die Beteiligten wären eine Meile entfernt voneinander, so würden die Strahlen, welche der Sender nach allen Richtungen ausschickt, eine Kugel mit dem Halbmesser von einer Meile erfüllen und jedermann, der innerhalb dieser Entfernung vom Sender sich befände, könnte die Mitteilung auffangen. Dies würde auf zwei Arten vermieden werden können. Wären die Lagen des Senders und des Empfängers genau bestimmt, so könnte man die Strahlen mit größerer oder geringerer Sicherheit auf den Empfänger vereinigen. Wären indes Sender und Empfänger beweglich, so daß eine Linsenanordnung sich verbietet, so müßten die Beteiligten ihre Apparate auf eine und dieselbe Wellenlänge, sagen wir etwa 50 m, abstimmen. Ich nehme dabei an, daß man Apparate erfinden würde, welche durch Drehung einer Schraube oder durch Änderung der Länge eines Drahtes so geregelt werden können, daß sie zur Aufnahme von Wellen verabredeter Länge geeignet würden. Wären sie etwa auf 50 m

Digitized by Google

Wie viele andere hatte auch ich mich mit der Aufgabe beschäftigt, war indes nicht weiter gekommen, als von einem zum andern Ende der langen Gänge unserer Hochschule*). Selbst die Zuhilfenahme von parabolischen Spiegeln und großen Kapazitäten brachte uns über diese Grenze nicht hinaus. Marconi mußte, das wurde mir klar, noch etwas anderes, Neues zu dem Bekannten hinzugefügt haben, wodurch die kilometerlangen Entfernungen erreicht wurden. Kurz entschlossen reiste ich nach England, wo die Telegraphenverwaltung größere Versuche anstellte. Durch meinen Freund Gisbert Kapp bei Mr. Preece, dem Chefingenieur der englischen Telegraphenbehörde, vortrefflich ein-

eingestellt, so würde der Empfänger nur Wellen von vielleicht 45 bis 55 m aufnehmen und für alle übrigen unempfindlich sein. Bedenkt man, daß eine große Zahl von Wellenlängen zur Verfügung steht, von einigen Fußen bis zu tausenden von Meilen, so erscheint die Geheimhaltung ausführbar; wäre ein Neugieriger noch so unermüdlich, er würde doch sicherlich vor der Aufgabe zurückschrecken, all die Millionen von möglichen Wellenlängen zu versuchen, um endlich durch Zufall auf diejenigen zu stoßen, welche die zu Belauschenden benutzen. Durch Geheimzeichen könnte man selbst diese Möglichkeit ausschließen. Das sind nicht bloße Träumereien. Alle Erfordernisse, den Plan zu verwirklichen, liegen in dem Bereich der Möglichkeit, und zwar genau auf dem Wege, den die Forschung in allen Hauptstädten Europas bereits eingeschlagen hat, so daß wir täglich erwarten können zu hören, die Aufgabe sei praktisch gelöst. Schon heute ist eine Telegraphie ohne Drähte bereits möglich auf die beschränkte Entfernung von einigen hundert Metern, und vor einigen Jahren habe ich selbst Versuchen beigewohnt, bei denen Telegramme von einem Teil eines Hauses zu einem andern ohne verbindenden Draht fast genau durch die beschriebenen Mittel gesandt wurden."

*) Slaby konstruierte sich einen Fritter aus parallel gespannten, sich nahezu berührenden Spiralen in einem Kästchen, das mit einer Glasplatte abgedeckt war. An diesem befestigte er die kurzen Auffangedrähte Hertz' und Righis, ein Trockenelement und ein empfindliches Galvanometer. Sein Mechaniker dagegen sollte sich jenseits einer geschlossenen Tür mit einem den Oszillator nebst Funkeninduktor und Akkumulatorenbatterie tragenden fahrbaren Tisch immer weiter entfernen. Jedesmal bei dem Ruf „Jetzt" sollte ein Funke gegeben werden. Slaby erwartete als Wirkung desselben einen Ausschlag des Galvanometers.

Zu seiner großen Freude trat dieser Ausschlag auch jedesmal prompt auf das Kommando ein, selbst als der fahrbare Tisch, wie sich später herausstellte, längst mitsamt den Instrumenten umgefallen war und der Mechaniker, statt Funken zu geben, die Schwefelsäure der Akkumulatorenbatterie vom Fußboden aufwischte! Es waren leider nur die Lufterschütterungen, die den Kontakt der Spiralen bewirkten.

Digitized by Google

geführt, wurde mir in liebenswürdigster Weise die Teilnahme daran gestattet. Ich will nun gleich vorwegnehmen: Was ich sah, war tatsächlich etwas Neues, Marconi hatte eine Entdeckung gemacht; er arbeitete mit Mitteln, deren volle Bedeutung vor ihm noch niemand erkannt hatte. Nur dadurch erklärt sich sein Erfolg. Marconi hat zunächst für das Verfahren eine geistvolle Einrichtung ersonnen, die mit den einfachsten Hilfsmitteln eine sichere technische Wirkung erreicht. Sodann hat er gezeigt, wie durch Erdverbindung der Apparate einerseits, sowie durch Benutzung lang ausgestreckter senkrechter Drähte anderseits eine Telegraphie erst möglich wird. Diese Drähte bilden das Wesentliche seiner Erfindung, die Bezeichnung „Telegraphie ohne Draht" ist darum eigentlich irreführend, richtiger nennt man sie wohl „Funkentelegraphie" im Gegensatz zu der bisherigen „Linientelegraphie".

Ich will zunächst die bauliche Einrichtung erörtern. Der Hauptteil des Apparates ist das elektrische Auge, das Fig. 72, XXIV in halber natürlicher Größe zeigt. Nach vielen Versuchen hat Marconi ein Metallpulver, oder richtiger eine Mischung von Metallpulvern als beste erkannt, welche zu 96 % aus Hartnickel, zu 4 Proz. aus Silber besteht. Es wird durch Raspeln mit reinen und trockenen Feilen erzeugt. Diese Mischung wird in eine Glasröhre eingeschlossen zwischen zwei Kolben aus Silber, deren begrenzende Oberflächen durch eine Spur Quecksilber amalgamiert sind. Je dünner man die Pulverschicht macht, desto empfindlicher wird das Auge, d. h. bei desto geringerer Strahlungsenergie spricht es an. Die Schicht hat nur etwa ½ mm Dicke, man bringt darin kaum mehr als 20—25 Metallkörner unter. Der angegebene genaue Prozentsatz des Silbers wird dadurch gegenstandslos; man kann nur sagen, daß ein größerer Reichtum an Silberkörnern die Röhre empfindlicher macht, man tauscht dafür aber einen Nachteil ein: je mehr Silber, desto schlechter wird die Auslösungsfähigkeit, d. i. die Unterbrechung durch Erschütterung nach erfolgter Zeichengebung. Für die sichere Wirkung ist das aber die Hauptsache, ich lasse darum das Silber ganz fort und nehme nur reine Nickelfeile. Marconi empfiehlt ferner, die Röhre nach erfolgter Füllung aus-

Digitized by Google

zupumpen und dann erst zuzuschmelzen. Das erste ist nach meinen Beobachtungen minder wichtig, das Zuschmelzen dagegen empfehlenswert, weil es die richtige Lage der begrenzenden Silberkolben sichert. Die Zuleitung bewirken Platindrähte, die mit den Silberkolben verlötet werden. Von allergrößter Wichtigkeit ist es aber, daß man die Metallkörner mit der Lupe von möglichst gleicher Größe aussucht, die scharfkantigen, zackigen und spitzigen bevorzugt, die rundlichen tunlichst vermeidet. Vor der Füllung muß man sie sorgfältig reinigen und trocknen. Trotz alledem ist man vom Zufall abhängig; von einer ganzen Reihe, die in gleicher Weise hergestellt sind, hat man immer einige auszumerzen, teils wegen zu geringer oder zu großer Empfindlichkeit, teils wegen mangelnder Auslösungsfähigkeit.

Die Anordnung von Marconis Empfänger will ich zunächst übersichtlich erläutern. Der stark ausgezogene Stromkreis (Fig. 73, XXIV), welchen ich als Hauptkreis bezeichnen will, enthält in Hintereinanderschaltung ein kleines Trockenelement *A* von 1,5 bis 1,2 Volt elektromotorischer Kraft, ein empfindliches Relais *B* und die Frittröhre *C*. Relais nennt man bekanntlich einen in der Telegraphie viel benutzten Übertrager, der auf sehr geringe Ströme anspricht und dabei eine Zunge bewegt, die einen zweiten Stromkreis mit stärkerer Batterie, die sogenannte Ortsbatterie schließt. Ist der Fritter ausgelöst, so ist der Stromkreis unterbrochen; die Zunge des stromlosen Relais lehnt gegen den Ruhestift. Nach erfolgter Bestrahlung gestattet die Frittung in *C* die Ausbildung eines Stromes, welcher die Relaiszunge auf den Arbeitsstift legt. Dadurch schließt sich der Nebenkreis der Ortsbatterie *a* und der darin eingeschaltete Morseschreiber *b* sowie der Klopfer *c* werden betätigt. Bei dem ersten Schlage des Klopfers gegen den Fritter muß dieser sich auslösen, dadurch wird der Hauptkreis stromlos, die Relaiszunge legt sich wieder auf den Ruhestift und schaltet die Ortsbatterie aus. Bei erneuter Bestrahlung wiederholt sich der Vorgang. Es ist klar, daß man durch unterbrochene Bestrahlung des Fritters die Zeichen des Morse-Alphabets erzeugen kann.

Mit dieser einfachen Anordnung können wir im Zimmer oder von einem ins andere telegraphieren. In die Hauptwicklung des

Digitized by Google

Induktoriums schaltet man eine gewöhnliche Morsetaste, mit dem man für kürzere oder längere Zeit den Strom schließt. Ich will die Handhabung an den beiden Apparaten erläutern, die hier zu beiden Seiten des Saales etwa 20 m voneinander entfernt aufgestellt sind. Die Frittröhre ist mit Marineleim an einen längeren Glasstab gekittet, der zur wagerechten Befestigung an zwei senkrechten Metallständern dient. Unmittelbar vor dem mit Nickelfeile gefüllten Spalt befindet sich der Klopfer, ein kleiner Hornklöppel an einem Anker, der von dem dahinter liegenden Elektromagnet in ähnlicher Weise bewegt wird wie der Klöppel einer elektrischen Klingel. Der Elektromagnet des Klopfers ist hier parallel zu dem Morseschreiber bzw. zu einem elektrischen Läutewerke geschaltet und nicht, wie die Zeichnung der Übersichtlichkeit wegen angibt, in Hintereinanderschaltung. Ich verbinde nunmehr ein Trockenelement mit dem Hauptstromkreis und schalte das Läutewerk parallel zum Klopfer in den Nebenkreis. Wie Sie bemerken, bleibt alles in Ruhe, da der Hauptkreis in dem Fritter völlig unterbrochen ist, die Zunge des Relais legt sich gegen den Ruhestift. Sobald ich nun aber eine elektrische Strahlung erzeuge, welche die Frittröhre trifft, ändert sich das Bild. Die Nickelfeile bildet elektrischen Schluß, das Trockenelement sendet einen Strom durch das Relais und dieses schließt den Nebenkreis. Sie hören das Klingelzeichen und den Schlag des Klopfers gegen die Röhre, wodurch der Stromkreis wieder unterbrochen wird. Lasse ich andauernd schwingende Entladungen am Strahlapparat übergehen, so folgt auf jede Unterbrechung eine erneute Bestrahlung, der Vorgang wiederholt sich, so lange ich will, die Klingel und der Klopfer arbeiten weiter. Das Rufzeichen ist gegeben, wir schalten das Läutewerk aus, den Morseschreiber ein, das Telegraphieren kann beginnen.

Soweit ist alles einfach und leicht zu verstehen. Marconi, ein noch jugendlicher Italiener, im Anfang der Zwanziger, begann seine Versuche auf dem Landgute seines Vaters bei Bologna, angeregt durch die Vorlesungen Righis an der Universität zu Bologna. Dort machte er auch die schöne und folgenreiche Entdeckung, von der ich schon gesprochen habe. Er fand, daß die Entfernung, welche er mit den geschilderten Einrichtungen erreichen konnte,

Digitized by Google

mehr als verhundertfacht wurde, wenn er den einen Pol seines Strahlapparates mit einem senkrechten Draht, den anderen Pol mit der Erde verband und die gleiche Einrichtung an der Frittröhre des Empfängers traf. Noch bis zur Mitte dieses Sommers glaubte er, daß zur Erreichung guten Erfolges Kapazitäten erforderlich seien, welche er in Form von Zinkplatten oder Zinkzylindern an den obersten Enden der Luftdrähte anbrachte. In seiner vor mehr als Jahresfrist verfaßten und vor einigen Monaten veröffentlichten englischen Patentschrift legte er auf diese Kapazitäten besonderen Wert. Die Versuche, welche er im Frühjahr in England und im Sommer in Spezia anstellte, scheinen ihn nach einer brieflichen Mitteilung nunmehr auch zu der Überzeugung gebracht zu haben, daß die umständlichen Kapazitäten nicht so wichtig seien, wie er anfangs annahm: es ist hauptsächlich die Länge des Luftdrahtes, wodurch die Überschreitung großer Entfernungen bedingt wird.

Die Erforschung der Funkentelegraphie ist in den begrenzten Räumen eines Laboratoriums schwer möglich. Man braucht dazu kilometerlange Entfernungen in freier Luft, nicht unterbrochen durch Wälder, Berge oder Häuser. Das senkrechte Ausspannen langer gut isolierter Drähte ist keine einfache Sache, noch dazu, wenn, wie bei den ersten Versuchen Marconis, die oberen Enden mit großen Kapazitäten versehen werden sollen.

Marconi kam ein überaus glücklicher Umstand zu Hilfe. Der Chefingenieur der englischen Telegraphenbehörde, Mr. Preece, hatte sich seit Jahren bemüht, die Leuchtschiffe an der englischen Küste und kleine in der Nähe derselben liegende Inseln telegraphisch mit dem Festlande zu verbinden ohne Benutzung von Kabeln. Er spannte parallele Drähte aus, deren Enden in das Wasser geführt wurden; jeder derselben stellte somit einen geschlossenen Kreis dar. Wurden nun durch den einen kräftige, unterbrochene, elektrische Ströme oder Wechselströme gesandt, so riefen sie durch Induktion in dem parallel gestellten Draht elektrische Stromstöße hervor, die durch einen eingeschalteten Fernsprecher hörbar gemacht werden konnten. Schon im Jahre 1892 hatte er auf diese Weise zwischen Penarth und Flatholm im Bristolkanal eine telegraphische Verbindung hergestellt. Auch hier bei uns auf

Digitized by Google

dem Wannsee haben die Herren Rathenau und Rubens ähnliche erfolgreiche Versuche ausgeführt. Man scheint indes über beschränkte Entfernungen nicht hinausgekommen zu sein, zudem bereitet der Anrut nicht unerhebliche Schwierigkeiten.

An Mr. Preece wandte sich Marconi; er fand sofort Verständnis und tatkräftige Unterstützung. Auf dem alten Versuchsfelde zwischen Penarth und Flatholm im Bristolkanal wurden zwei Standorte eingerichtet und am 10. Mai begannen die denkwürdigen Versuche, die von Mr. Preece persönlich und seinen Ingenieuren Mr. Gavey und Mr. Cooper geleitet wurden.

Auf der etwa 20 m hohen Klippe von Lavernock Point, 1 Stunde von dem freundlichen Badeort Penarth entfernt, war ein 30 m hoher Mast errichtet, durch Drahtseile gehalten, über dessen Spitze ein zylindrischer Zinkhut von 2 m Höhe und 1 m Durchmesser gestülpt war. Von dem Zinkzylinder führte ein isolierter Kupferdraht bis zum Fuße des Mastes an den einen Pol des Empfängers. Der andere Pol war durch ein langes Drahtseil, die Klippe hinunter, mit dem Meere verbunden. Mitten im Kanal, 5 km entfernt von Lavernock Point, liegt das kleine Eiland Flatholm, auf seinen hohen Klippen mit Kanonen gespickt, zugleich der Standort eines Leuchtturmes. Dort war der Sendeort. In einem Bretterhäuschen stand der Strahlapparat mit einem verhältnismäßig kleinen Induktorium (25 cm Schlagweite) von einem achtzelligen Akkumulator gespeist. Die vollen Messingkugeln von 10 cm Durchmesser waren bis auf 2 mm genähert und durch eine Schicht Vaselinöl getrennt. Die äußeren Kugeln, gleichfalls voll, von etwa 4 cm Durchmesser, in einem Abstand von 10 mm von den inneren Kugeln, waren einerseits mit einer Kapazität auf einem Mast von genau gleichen Abmessungen wie in Lavernock Point, anderseits mit dem Meere verbunden.

Am ersten Versuchstage wurden zwei kilometerlange Drähte auf beiden Seiten über die Klippen gelegt, um nach dem älteren Verfahren von Mr. Preece eine Verbindung mit Fernsprechern herzustellen, was auch nach kurzer Zeit gelang. Am zweiten Tage sollte nach dem Marconischen Verfahren telegraphiert werden. Zunächst gelang es nicht, Zeichen überhaupt zu erhalten. Man

Digitized by Google

schrieb die Schuld den eisernen Drahtseilen zu, welche den Mast hielten und den Empfangsdraht wie einen Käfig umgaben. Als man am anderen Tage diesen um etwa 20 m verlängerte, um den Empfänger seitlich vom Mast entfernt aufzustellen, kamen die ersten aber noch undeutlichen Zeichen. Der volle Erfolg war erst am nächsten Tage vorhanden, nachdem man mit dem Empfangsapparat hinunter an den Strand gezogen war und damit die wirksame Länge des Drahtes fast verdoppelt hatte. Es wird mir eine unvergeßliche Erinnerung bleiben, wie wir, des starken Windes wegen in einer großen Holzkiste zu Fünfen übereinander gekauert, Augen und Ohren mit gespanntester Aufmerksamkeit auf den Empfangsapparat gerichtet, plötzlich nach Aufhissung des verabredeten Flaggenzeichens, das erste Ticken, die ersten deutlichen Morsezeichen vernahmen, lautlos und unsichtbar herübergetragen von jener felsigen, nur in undeutlichen Umrissen wahrnehmbaren Küste, herübergetragen durch jenes unbekannte geheimnisvolle Mittel, den Äther, der die einzige Brücke bildet zu den Planeten des Weltalls. Es waren die Morsezeichen des v, welche der Verabredung gemäß herüberkamen und der Liebenswürdigkeit meiner Gastfreunde verdanke ich den Besitz dieser ersten Zeichen, welche in Fig. 74, XXV durch Autotypie wiedergegeben sind.

Nach meiner Abreise wurden die Versuche fortgesetzt, und es gelang, wie mir Mr. Preece mitteilte, zwischen Lavernock Point und Brean Down, quer über die ganze Breite des Kanals (14,5 km), telegraphische Verständigung zu erzielen. Bei diesem Versuch wurden auf beiden Standorten Drachen benutzt, um die senkrechten Drähte zu halten. Wie lang dieselben waren, ist mir nicht bekannt geworden.

Zurückgekehrt, ging ich sofort daran, meine eigenen Versuche wieder aufzunehmen, unter Verwendung Marconischer Luftdrähte (Antennen).

Der erste Versuch, Ende Juni, bestand in der telegraphischen Verbindung dieses Hörsaales (Technische Hochschule, Charlottenburg) mit der chemischen Fabrik von A. Beringer, am Salzufer gelegen. Es stand dort ein Wasserturm zur Verfügung, um den Sendedraht zu befestigen. Der Versuch glückte sofort, doch zog

Digitized by Google

ich es vor, denselben schleunigst abzubrechen, da eine Anfrage des Fernsprechamts einlief, ob am Salzufer örtliche Gewitter aufträten, die sämtlichen Linien dorthin seien gestört. Wir lagen also dort mit unserem Strahlapparat den Fernsprechdrähten zu nahe.

Die nächste Verbindung erfolgte mit dem Wohnhause eines meiner Assistenten an der Ecke der Berliner und Sophienstraße. In einem Kellerraum des einstöckigen Hauses wurde der Strahlapparat aufgestellt. Die Entfernung in der Luftlinie beträgt etwa ¼ km, doch liegen zahlreiche hohe Bäume dazwischen, welche die Strahlung durchdringen muß. Wir wollen heute abend den Versuch wiederholen.

Hier im Saal steht der Empfänger mit dem Morseschreiber. Der eine Pol des Fritters ist mit der Wasserleitung verbunden, also an Erde gelegt; an dem anderen Pol ist ein isolierter Kupferdraht befestigt, der im Nebenzimmer zum Fenster hinausführt und mittels eines Porzellanisolators an der Dachkante des Hauses aufgehängt ist. Drüben am Sendeort ist ein gleicher Draht gut isoliert an der Spitze der Fahnenstange befestigt, die zugleich den Blitzableiter des Hauses bildet. Er führt frei durch die Luft bis in die Nähe des Erdbodens und von hier mittels isolierender Stützen in den Raum, wo der Strahlapparat steht, von gleichen Abmessungen wie der hier auf dem Tische befindliche.

Zur wissenschaftlichen Erforschung der merkwürdigen Erscheinung genügen aber so geringe Entfernungen nicht. Ich war so glücklich, die Allerhöchste Erlaubnis zu erhalten, auf den Gewässern der Havel bei Potsdam und in den umliegenden Königlichen Gärten Versuche anstellen zu dürfen. Fast 2 Monate konnte ich auf diese Forschungen verwenden, unterstützt von den Mannschaften der Königlichen Matrosenstation.

Es waren die unterhaltendsten, angenehmsten Studien, die ich je betrieben, in dem herrlichen Laboratorium der Natur unter einem fast immer lachenden Himmel in paradiesischer Umgebung. Die planmäßig angestellten Versuche brachten uns, wenn auch keine Erklärung der Erscheinungen, so doch eine Fülle von Anregungen und wichtige Anhaltspunkte für die weitere erfolgreiche Ausdehnung der Funkentelegraphie.

Digitized by Google

Unser Hauptquartier war auf der Matrosenstation an der Glienicker Brücke (Fig. 75, XXV). Dort standen die Empfangsapparate. Der vorhandene Flaggenmast wurde wesentlich erhöht, so daß die oberste Spitze des blanken Empfängerdrahtes 26 m über dem Erdboden lag. Unser erster Sendeort war die Pfaueninsel, 3 km entfernt. Die Apparate, Batterien, Induktorien und Strahlapparate wurden in einem Zimmer des dortigen Schlosses aufgestellt. An der wohlbekannten eisernen Brücke, welche die beiden Türme des Schlosses verbindet (Fig. 76, XXVI), wurde ein Mast befestigt zur Aufnahme eines senkrecht am Schloß heruntergeführten 26 m langen Drahtes, der an Isolatoren hängend durch das Fenster bis ins Zimmer geführt wurde. An beiden Orten war gute Erdverbindung durch einen Draht hergestellt, der bis zur Havel ging und dort an einer großen im Wasser liegenden Zinkplatte verlötet wurde.

Die ersten Versuche, welche angestellt wurden, brachten kein befriedigendes Ergebnis. Wohl kamen Zeichen an, sie waren aber zerrissen und unleserlich. Dazu traten Störungen ganz unvorhergesehener Art, unregelmäßige Zeichen, die nicht gesandt waren. Besonders viel zu schaffen machten uns die letzteren. Da der Empfänger sie nur anzeigte, wenn sein Pol mit dem Luftdraht verbunden war, so mußte in diesem die Störungsquelle vermutet werden. An luftelektrische Ursachen dachte ich zunächst noch nicht, war doch die Luft klar und rein und ohne jede Gewitterschwüle. Bei den englischen Versuchen hatte ich allerdings die Wirkungen der Luftelektrizität kennen gelernt, aber sie waren sehr gering gewesen. Sobald man den Draht vom Empfänger gelöst und einige Zeit isoliert in der Hand gehalten hatte, sprach die Frittröhre an, wenn man den Kupferdraht wieder an den Pol legte, und zwar konnte man den Versuch drei bis viermal hintereinander wiederholen mit immer schwächer werdender Wirkung, bis diese ganz ausblieb. Dann mußte man einige Zeit warten, ehe man die Erscheinung wiederholen konnte. Wir hatten es offenbar mit elektrischen Ladungen aus der Luft infolge der großen Kapazität an der Spitze des Drahtes zu tun. Die Wirkungen waren indes so gering, daß sie das Telegraphieren nicht störten. Hier in

Digitized by Google

Potsdam waren die Erscheinungen viel stärker, obwohl die große Kapazität an den Enden der Drähte fehlte. Ich hatte sie fortgelassen, weil ich an ihre Wirkung von Anfang an nicht glaubte. Zudem hatte mir Kapitän Jackson von der englischen Marine erzählt, daß er zwischen zwei Schiffen auf 2 km Entfernung mit einfachen Drähten, die ohne Kapazität am Mast hochgebracht waren, telegraphieren konnte. Ich will Sie mit den vielen erfolglosen Versuchen, die vorgenommen wurden, den Übeltäter zu entdecken, nicht ermüden. Es wurde endlich außer Zweifel gestellt, daß wir es tatsächlich mit Luftelektrizität zu tun hatten, die sich aber nur deshalb so störend bemerkbar machte, weil unser elektrisches Auge allzu empfindlich war. Es enthielt zu feines und ungleichmäßiges Pulver und zuviel Silber. Dies führte zu einer völligen Umgestaltung unserer Frittröhren, wir machen sie seitdem mit gröberen sorgfältig ausgesuchten Körnern und ohne Silber. Im Laboratorium hatten unsere Fritter vorher vortrefflich gearbeitet, wir freuten uns über ihre große Empfindlichkeit, im Freien versagten sie. Die Natur zwang uns, ihre eigene, unerwünschte Telegraphiertätigkeit durch Anwendung gröberer Mittel außer Dienst zu stellen.

Der andere Übelstand, das Zerreißen unserer Zeichen, konnte nicht so schnell beseitigt werden. Da die Pfaueninsel von der Matrosenstation aus nicht gesehen werden kann, war eine Verständigung durch Flaggenzeichen nicht möglich, der Verkehr durch Boten zu zeitraubend und mühevoll. Ich nahm deshalb zunächst die Studien mit einem günstiger gelegenen Sendeort auf, mit der Sacrower Heilandskirche, welche 1,6 km in der Luftlinie von der Matrosenstation entfernt und sichtbar ist, so daß eine Verständigung durch Flaggenzeichen möglich war. Durch die Güte des Kommandeurs der Luftschifferabteilung, Herrn Majors Nieber, kam ich später in den Besitz eines Fernsprechkabels, welches durch die Havel gelegt wurde, so daß die Versuche nunmehr schneller aufeinander folgen konnten.

Die Lage der Sacrower Kirche ist Ihnen bekannt (Fig. 77, XXVI). Seitlich von der Basilika steht der Glockenturm, der unmittelbar unter seinem Dach eine Plattform trägt. Dort wurde ein Mast befestigt und an seiner äußersten Spitze, 23 m über dem Erdboden,

Digitized by Google

mit Hilfe eines Porzellanisolators der isolierte Kupferdraht aufgehängt. Zur Aufstellung des Strahlapparates wählten wir den Säulengang der Kirche, um bei Regenwetter geschützt zu sein. Das war unser Glück, eine andere Anordnung, die später gewählt wurde, hätte uns nicht sofort zum Ziele geführt.

Die in Sacrow aufgegebenen Telegramme kamen auf der Matrosenstation mit tadelloser Klarheit und Bestimmtheit an. Die atmosphärischen Störungen waren durch die unempfindlicheren Frittröhren endgültig beseitigt; das Zerreißen der Morsestriche hatte aufgehört. Nur manchmal, wenn Spreekähne mit ihren großen aufgespannten Segeln in unmittelbarer Nähe der Kirche vorüberfuhren, gab es einige zerrissene Morsestriche, die aber immerhin noch zu lesen waren. Einmal allerdings wurden wir durch Undeutlichkeit der Zeichen in lebhafte Bestürzung versetzt. Es war gerade an dem Tage, an welchem S. M. der Kaiser die Einrichtungen besichtigen wollte. Kurz vor Toresschluß gelang es uns erst die Ursache der Störungen zu beseitigen. Wir hatten, um gegen etwaigen Regen besser geschützt zu sein, den Strahlapparat tiefer in den Eingang der Kirche gerückt, dabei war der Sendedraht, welcher stark durchhing, auf etwa 2 m Länge, dem Fliesenboden der Kirche auf zirka 30 cm nahe gekommen. Spätere Versuche haben uns deutlich gezeigt, daß jede parallele Lage eines Teiles des Drahtes in der Nähe des Erdbodens verhängnisvoll ist. Es gibt eine gewisse Mindestentfernung, bei der die elektrischen Strahlen nicht mehr in den Raum, sondern direkt zur Erde übergehen. Nachdem wir den Draht verkürzt und straffer angezogen hatten, war die Störung beseitigt. Das Telegraphieren gelang vorzüglich, S. M. der Kaiser gab selber ein Telegramm auf und konnte sich bei der Rückkehr nach der Matrosenstation von der sicheren Ankunft desselben überzeugen.

Weitere Versuche an der Sacrower Kirche ergaben ein wichtiges Resultat. Als ich den Sendedraht senkrecht am Glockenturm herunterführte zu dem am Eingang des Turmes aufgestellten Strahlapparat, blieben die Zeichen vollkommen aus. Nach längeren Versuchen erst wurde die Hinderungsursache erkannt und damit zugleich eine Erklärung des anfänglichen Mißerfolges mit der

Digitized by Google

Pfaueninsel gewonnen. In unmittelbarer Nähe des Glockenturmes befanden sich hohe Baumgruppen, welche den vertikalen Draht fast völlig verdeckten, so daß man von der Matrosenstation mit einem Fernrohr nur das oberste Stück des Drahtes erkennen konnte. Die von dem Draht ausgehenden Strahlen wurden ebenso wie die Lichtstrahlen von der Baumgruppe verschluckt bzw. zur Erde abgeleitet. Die Hauptbedingung für das Gelingen der Funkentelegraphie ist, daß alle Hindernisse, welche sich in der Nähe vor dem Sendedraht befinden, beseitigt werden, die beiden Drähte, am Sender und Empfänger müssen sich gleichsam sehen können. Wie lagen die Verhältnisse nun bei der Pfaueninsel? In ein Meßtischblatt der Generalstabsaufnahme wurde die Verbindungslinie der Apparate eingetragen. Dieselbe schnitt nicht nur eine bewaldete als Landzunge vorspringende Anhöhe, sondern eine ganze Gebäudegruppe, den Jägerhof im Park von Glienicke. Durch diesen mußten die Strahlen hindurch und es erklärt sich dadurch ihre auffallende Schwächung.

Zuerst hatte ich den Blitzableiter auf dem Schloß der Pfaueninsel als Störenfried im Verdacht gehabt. Ich ließ seine Erdverbindung herausnehmen — ohne Erfolg. Sodann zog ich mit meinem Empfänger weiter nach Westen, in die Nähe der Marmorbank im Neuen Garten. An einem hohen Baume hatten die flinken Matrosen bald einen Mast befestigt, dessen Spitze 23 m über der Erde war. Nun lag zwischen den beiden Drähten die bewaldete und bebaute Landzunge nicht mehr im Wege. Das Ergebnis war besser, aber noch nicht zufriedenstellend. Auf der Pfaueninsel waren noch Baumgruppen vor dem Draht, welche ihn verdeckten. Ich ließ den Draht von dem Mast am Schloß mit einer geringen Neigung zunächst an einen Flaggenmast führen, unmittelbar an dem erhöhten Ufer der Pfaueninsel, von dort herunter zum Ufer an den Strahlapparat. Jetzt lag der Draht ganz frei, er war sichtbar, aber seine Länge war angewachsen auf 65 m, während die Länge des Empfängerdrahtes nur etwa 26 m betrug. Die Zeichen wurden wiederum deutlicher, aber noch nicht völlig bestimmt. Wenn zahlreiche hohe Segel, oder noch schlimmer, wenn Dampfer mit stark aufsteigendem Qualm dazwischenkamen,

Digitized by Google

so zerrissen wieder die Morsezeichen. Nun schritt ich zur letzten Veränderung. Ich machte den Empfängerdraht von gleicher Länge, 65 m. Dazu mußte ich auf die Havel hinaus; auf einem Prahm, durch ein Zelt geschützt, wurde der Apparat aufgestellt. Sofort kamen die Zeichen tadellos, nicht mehr zerrissen durch Segel oder Rauch.

Verlängerung, Sichtbarmachung der Drähte und Abstimmung auf gleiche Länge hatten den Erfolg bewirkt. Ungeändert war dagegen die Höhe der Aufhängepunkte geblieben.

Deutlich haben die Versuche gezeigt, daß den ausschlaggebenden Einfluß Länge und Gleichheit der Drähte besitzen. Dazwischenliegende Hindernisse stören zwar, lassen sich aber überwinden, wenn man die Drähte nur genügend lang machen kann.

Besondere Versuche wurden angestellt, um zu sehen, ob senkrecht ausgespannte Drähte vor dem Empfängerdraht die Aufnahme stören. Der Flaggenmast auf der Matrosenstation wird durch eine ganze Reihe von eisernen Drahtseilen gehalten. Ich stellte den Empfänger, der bis dahin immer seitlich von dem Flaggenmast angebracht war, weil ich den Einfluß der Drahtseile fürchtete, dicht an den Mast, so daß die Drahtseile den Apparat wie ein eiserner Käfig umgaben: Die sichere Zeichengebung von der Sacrower Kirche wurde dadurch nicht gestört. Ich muß bemerken, daß alle Drahtseile mit Ausnahme eines einzigen Erdschluß hatten, wie durch Messung festgestellt wurde. Nur ein einziges, und zwar das vorderste, welches dicht am Ufer befestigt war, hatte ich durch ein eingeschaltetes kurzes Hanfseilstück von der Erde isoliert; ein zweites unmittelbar dahinter liegendes, im Abstand von wenigen Zentimetern zum ersteren fast parallel laufendes, hatte gute Erdverbindung. Ich hatte das vordere Drahtseil isolieren lassen, um dasselbe geeignetenfalls als Empfängerdraht benutzen zu können. Dies glückte auch, aber die Wirkungen waren auffallend schwächer und die Zeichen nicht immer ganz vollständig. Ich lernte hier zuerst die mangelhafte Wirkung des Eisens als Material für den Empfängerdraht sowie die Schädlichkeit des Dralls kennen, wovon weiter unten noch die Rede sein wird.

Digitized by Google

Ein geringer Drall hat keinen nachteiligen Einfluß. Dies zeigte ein Versuch mit blankem Kupferdraht, den ich in einigen Windungen um den hölzernen Flaggenmast herumführte, ehe ich sein Ende mit dem Apparat verband. Ich erhielt keine Schwächung der Zeichen, auch dann nicht, als ich ein Stück des Drahtes zu einer Spule aufwickelte mit 40 Windungen.

Ein in den Empfängerdraht eingeschalteter Widerstand von 100 Ohm ließ gleichfalls keine Schwächung der Zeichen erkennen. Eine Erhöhung dieses Widerstandes auf 1000 Ohm schwächte dieselben dagegen erheblich und machte sie fast unleserlich.

Schließlich möchte ich hier noch eine Tatsache erwähnen, die uns mehrfach entgegentrat, aber nicht völlig aufgeklärt werden konnte. Bei den Versuchen, sowohl mit Sacrow als mit der Pfaueninsel, bei denen abgerissene Zeichen überhaupt auftraten, konnten wir eine Zunahme der Störungen bemerken, sobald das Wetter windig wurde. Ich vermute, daß die Bewegung der Blätter an den Bäumen, welche die Strahlen auf ihrem Wege zu durchdringen hatten, einen größeren und wechselnden Widerstand herbeiführte. Es wäre auch möglich, daß bewegte Luft die Ladung des Drahtes beschleunigt. Ein Einfluß der Luftfeuchtigkeit konnte niemals beobachtet werden, Nebel oder Regenwetter störten die Zeichengebung nicht.

Bei den Versuchen in Potsdam verfolgte ich lediglich den Zweck, mich zunächst mit den Erscheinungen der Funkentelegraphie näher vertraut zu machen, wichtige Grundbedingungen für das Gelingen kennenzulernen, die Apparate zweckentsprechender auszubilden und mich in der Handhabung derselben zu üben. Die Grenzen der Verwendbarkeit festzustellen, weite Entfernungen zu überwinden, das war nicht die Aufgabe, dir ich in Potsdam zu lösen gedachte. Dafür waren von vornherein andere, günstigere Örtlichkeiten und Mittel ins Auge gefaßt. Es wurde darum auch die Frage zunächst außer acht gelassen, wie etwa die Funkengebung am Strahlapparat wirkungsvoller zu gestalten wäre. Ich arbeitete in Potsdam immer mit denselben bescheidenen Mitteln: mit einem Funkeninduktor von Siemens & Halske für 25 cm Schlagweite, einer Akkumulatorenbatterie von 8 Zellen und dem

Digitized by Google

hier stehenden Strahlapparat, dessen Länge (Fig. 67, XXIV) 50 cm war. Der Abstand der großen Kugeln betrug beständig 2 mm in Öl, die kleineren äußeren Kugeln waren in wechselnder Entfernung von 3 bis 15 mm. Einen Einfluß der Länge der äußeren Funken konnte ich bei der geringen Entfernung nicht mit Sicherheit erkennen. Die Einstellung erfolgte immer so, daß die Funken im Öl möglichst gleichmäßig und mit weißlichem Lichte auftraten. —

Versuche, die Marconi im Juli mit der italienischen Marine angestellt hat, bestätigten vollkommen die Erfahrungen, die ich auf der Pfaueninsel gemacht habe. Auch dort schwächte die zwischenliegende Landzunge des Jägerhofs die Wirkung der Strahlen, erst die durch Verlängerung des Drahtes verstärkte Wirkung gestattete die Überwindung des Hindernisses. Lehrreich ist ferner die Zunahme der Übertragungsweite mit der Verlängerung (hier ausschließlich Erhöhung) der Drähte.

Nach den in Potsdam gesammelten Erfahrungen hielt ich die Anwendbarkeit der Funkentelegraphie auch auf größere Entfernungen für vollkommen sicher, falls es gelang, möglichst hohe und lange Sende- und Empfängerdrähte zu benutzen.

Es ist auf die eigenste Anregung des Kaisers zurückzuführen, daß sich die Luftschifferabteilung zur Verfügung stellte*).

Ein Vorversuch auf dem Tempelhofer Felde hatte den Zweck, die leitenden Offiziere mit Art und Ausführung der Versuche bekanntzumachen. Zugleich sollte festgestellt werden, ob wir kräftige Funkenentladungen in das Fesselseil ohne Gefahr für das Luftschiff hinaufschicken durften; denn es bot sich als einfachstes

*) Vorher machte Slaby selbst einige Versuche mit Drachen. Auf dem zum Teil ebenen Dach der Technischen Hochschule wurden Drachenaufstiege geübt, wobei seine Assistenten damit beschäftigt waren, den Drachen unentwegt immer wieder in die Luft zu werfen. Es ergab sich die Notwendigkeit, den Schwanz des Drachens zu stabilisieren, und in Ermangelung eines geeigneteren Gerätes verwandte man eine gerade vorhandene Blechschere dazu. Es wird erzählt, daß sowohl die Assistenten als auch die Mechaniker vor der lebensgefährlich in der Luft herumfuchtelnden Blechschere, die Arme schützend über den Köpfen, hinter den Schornsteinen Schutz suchten, bis endlich der Drachen, von einem Luftstoß entführt, ausriß, und aus dem Landwehrkanal gezogen, erst gegen Entrichtung eines Bergelohnes wieder erhalten werden konnte.

Digitized by Google

Mittel die Benutzung dieser Stahlseile als Sende- und Empfängerdrähte dar. Zu dem Ende wurden zwei mit Leuchtgas gefüllte Luftschiffe an Seilen befestigt, deren oberste Teile in der Länge von 20 m aus Hanf bestanden, um das Überspringen von Funken auf das Luftschift mit Sicherheit zu verhüten. Der mittlere Teil der Fesselseile bestand aus 100 m Drahtseil, wie es für gewöhnlich benutzt wird, der unterste Teil bis zur Winde wieder aus 20 m Hanfseil, um das Drahtseil tunlichst von der Erde zu isolieren. Von dem unteren Ende des Drahtseiles führte blanker Kupferdraht zu einem Pol der Apparate, die auf freiem Felde aufgestellt waren und deren anderer Pol mit Hilfe eines in den Boden gesteckten Säbels an Erde gelegt wurde. Der Sender befand sich in der Nähe von Rixdorf, der Empfänger 3 km davon entfernt in der Nähe des Übungsplatzes der Luftschifferabteilung in Schöneberg. Die Verbindungen mit dem Luftschiff waren an beiden Orten völlig übereinstimmend. Es ist vielfach vermutet worden, daß die Telegraphenapparate in den Tragkörben der Luftschiffe untergebracht gewesen seien, um von oben nach unten Telegramme zu senden. Das wäre vollständig überflüssig, da eine bessere Verbindung der Luftschiffer mit der Erde als die jetzt übliche durch Fernsprecher, nicht erforderlich ist. Das gefesselte Luftschiff hat bei den vorliegenden Versuchen lediglich die Rolle eines Trägers der Luftdrähte übernommen, es brauchte nicht bemannt zu werden. Wollte man die Apparate im Korbe unterbringen, so müßte unter allen Umständen noch eine zweite Leitung zur Erde geführt werden. Bei heftigem Winde könnten beide Leitungen sich berühren und dadurch Störungen veranlassen. Zudem scheint mir auch die Unterbringung des Strahlapparates mit seinen kräftigen Funken in unmittelbarer Nähe des Luftschiffes nicht ungefährlich. Irgendwelche Metallteile an demselben könnten die Rolle eines unerwünschten „Resonators" übernehmen und durch Funkenbildung das Gas entzünden.

Die Kapazität der dicken Drahtseile war sehr viel größer als diejenige der bisher benutzten dünnen Kupferdrähte, so daß wir am Strahlapparat nur verhältnismäßig schwache Funken erzeugen konnten. Eine Verstärkung des Funkengebers war mit Absicht

Digitized by Google

unterblieben. Trotzdem arbeitete die Einrichtung vollkommen zufriedenstellend, die Wirkungen auf den Empfänger waren sogar viel zu kräftig, so daß wir unsere unempfindlichsten Frittröhren benutzen mußten. Störungen durch Luftelektrizität waren allerdings vorhanden, doch waren sie von kurzem Verlauf, sie zeigten sich auf den Morsestreifen durch Punkte an und störten die eigentlichen Zeichen nicht, die aus kurzen und langen Strichen gebildet werden.

Ich war jetzt meiner Sache sicher und beschloß, sofort auf Entfernungen überzugehen, weiter als alle bisher erreichten. Als passender Ort bot sich Rangsdorf dar, an der Militärbahn in der Nähe von Zossen gelegen und 21 km in der Luftlinie von Schöneberg entfernt. Die Beförderung des Luftschiffes, der Wasserstoffflaschen, der Apparate und der Mannschaften war durch die Militärbahn wesentlich erleichtert. Außerdem stellte uns das Kommando derselben in dankenswertester Weise eine Fernsprechleitung zur Verfügung, so daß man sich jederzeit leicht verständigen konnte. Rangsdorf war der Sendeort. Die eigentlichen Versuche umfaßten 3 Tage und währten jedesmal von 10 bis 3 Uhr. Im folgenden will ich die wichtigsten Ergebnisse kurz zusammenstellen.

Dienstag, den 5. Oktober.

Wetter. Nach mäßigen Niederschlägen am Abend vorher war in der Nacht Aufklärung eingetreten. Wolkenloser Himmel bis 10 Uhr, dann geringe Bewölkung. Am Morgen starker Tau. Temperatur ca. 8° C. Barometerstand 770,5. Luftfeuchtigkeit ca. 70 %. Steifer Ostwind.

Des starken Windes wegen wurden Drachenluftschiffe (System von Sigsfeld) mit Wasserstoffüllung benutzt, von der Winde 500 m Drahtseil abgelassen, am Luftschiff und an der Winde je 20 m Hanfseil eingeschaltet. Das Luftschiff in Rangsdorf war mit einem Höhenmesser ausgerüstet. Die Schwankungen in der Höhenlage waren ziemlich beträchtlich, im Mittel stand das Luftschiff 300 m über dem Erdboden.

Sender und Empfänger waren durch isolierten Kupferdraht von 1 mm Durchmesser mit den unteren Enden des Drahtseils verbunden. Erdverbindung in Rangsdorf: Kupferplatte im angefeuchteten Erdreich, in Schöneberg: Säbel in die Erde gesteckt.

Digitized by Google

Infolge der großen Kapazität des Drahtseils ließen sich am Strahlapparat nur kleine Funken einstellen. Ölfunken 1 mm, äußere 2 mm.

Beim Befestigen der Luftdrähte an den Polen der Apparate empfingen wir heftige elektrische Schläge, selbst beim Berühren der Isolation mit dicken Lederhandschuhen. Beim Losreißen der Drähte, durch den heftigen Wind einigemal verursacht, gab es ein wildes Durcheinanderspringen der herumstehenden Mannschaften, um nicht von dem hin und hergepeitschten Draht getroffen zu werden. Glückte es, ihn einzufangen, so wurde er sofort mit einem Säbel an Erde gelegt.

Das Ergebnis in Schöneberg war ganz unbefriedigend. Einige Zeichen kamen zwar an, aber zerrissen und unbestimmt. Selbst wenn nicht telegraphiert wurde, arbeitete der Apparat unaufhörlich in Strichen und Punkten, lediglich infolge heftig abströmender Luftelektrizität. Es wurde uns sofort klar, daß diese Störungen auf die große Kapazität des Drahtseils zurückzuführen waren, die zudem in Rangsdorf die Funken schwächte.

Mittwoch, den 6. Oktober.

Wetter im allgemeinen unverändert. Himmel bewölkt. Temperatur 7° C. Barometerstand 769,9. Luftfeuchtigkeit 63 %. Kalter Nordost.

Die Luftschiffe standen zunächst mit 300 m Drahtseil, von 1 Uhr ab mit 400 m, ihre Höhe betrug nach Ausweis des Höhenmessers 200 m bzw. 280 m. Schwankungen in der Höhenlage waren noch vorhanden, aber geringer als am Vortage.

Als Empfangsdraht diente ein Fernsprechkabel aus Stahl (Doppeldraht mit Drall), wie sie bei der Luftschifferabteilung für den Verkehr vom Luftschiff zur Erde im Gebrauch sind. Dieses Kabel war am Korbe des Luftschiffes mit Hanfseilen befestigt; das untere Ende mit einem Pol der Apparate verbunden. Das Fesselseil, diesmal ohne die Hanfseilansätze, hatte metallische Berührung mit der Winde, deren Erdverbindung durch besondere Drahtseile verbessert wurde. Wir hofften durch diese Einrichtung die luftelektrischen Störungen abzuschwächen bzw. vom Empfangsdraht abzuhalten. Trotzdem waren dieselben in unverminderter Stärke vorhanden; man konnte die Fernsprechkabel, wenn sie frei

Digitized by Google

hingen, nicht berühren ohne die heftigsten elektrischen Schläge, aber weniger andauernd. Die Wirkung am Empfänger war dagegen wesentlich gebessert. Die einzelnen Zeichen waren deutlich zu erkennen, die Morsestriche indessen noch häufig unterbrochen und abgerissen. Die luftelektrischen Störungen gaben sich in zahlreichen Punkten auf dem Morsestreifen kund. Immerhin war die durch Verminderung der Kapazität der Drähte erzielte Besserung unverkennbar.

Ein Weiterschreiten auf dem betretenen Wege führte am dritten Tage zum vollen Gelingen.

Donnerstag, den 7. Oktober.

Wetter. Weniger rauh. Himmel ganz bewölkt. Temperatur 6° C. Barometerstand 769,4. Luftfeuchtigkeit 55%. Wind Nordwest.

Das Zerreißen der Zeichen am Vortage führte ich nach den in Potsdam gemachten Erfahrungen auf den Stahldraht des Fernsprechkabels und seinen Drall zurück. Wir ersetzten dasselbe durch umsponnenen Kupferdraht von 0,46 mm Durchmesser. Damit war auch eine weitere Verminderung der Kapazität verbunden.

Beim ersten Zeichen, welches vom Empfänger aufgenommen wurde, lag der Erfolg offen zutage. Dasselbe kam mit verblüffender Sorgfalt und Klarheit. Wir hatten die Störenfriede entdeckt und endgültig beseitigt: die große Kapazität, das Eisen und den Drall.

Die senkrechte Höhe des Luftschiffes betrug nach dem Höhenmesser 250 bis 280 m. Die Luftelektrizität wirkte genau so heftig wie früher, man konnte den freihängenden Kupferdraht nicht ohne Strafe berühren. Dennoch störte sie die ankommenden Zeichen nicht mehr. Fig. 78, XXVIII gibt eines der ersten Telegramme, man erkennt darin deutlich die Störungen durch Luftelektrizität, es sind winzige Punkte, die nicht mehr imstande sind, die Deutlichkeit der Morsezeichen zu beeinträchtigen.

Auf alle Beteiligten machten diese Versuche den Eindruck, daß die Grenze der Übertragungsmöglichkeit mit den vorhandenen Mitteln bei weitem noch nicht erreicht sei. Ich verstehe darunter diejenige, bei welcher ein regelmäßiger Depeschendienst noch mög-

Digitized by Google

lich ist. Bedenkt man nun, daß die Höhe des Luftdrahtes bei Benutzung von Fessel-Luftschiffen mit Leichtigkeit auf 1000 m ausgedehnt werden kann, daß ferner für die Verstärkung der Funken am Strahlapparat bis jetzt so gut wie nichts geschehen ist, so wird man einer weiteren Ausdehnung der Funkentelegraphie auf große Entfernungen eine günstige Zukunft nicht absprechen können.

Bisher hat man zur Erzeugung der Funken nur Induktorien benutzt, deren Schlagweite 30 cm nicht überstieg. Hier sehen Sie ein Induktorium, welches Funken bis 50 cm liefert, ich habe dasselbe bei den Versuchen nur deshalb nicht verwendet, weil es zu schwer ist. Auch wollte ich bisher nur die Grundbedingungen erforschen, was mit kleineren Mitteln ebensogut erreichbar ist. Das Induktorium ist ein physikalischer Apparat. Die Elektrotechnik hat uns gelehrt, wie man Funkenentladungen mit maschinellen Hilfsmitteln erzeugen kann, deren Mächtigkeit die dünnen Entladungen der Induktorien vollkommen in den Schatten stellt. Da das Studium dieser Einrichtungen noch nicht völlig abgeschlossen ist, will ich heute darauf nicht näher eingehen, doch will ich Ihnen solche Funkenentladungen vorführen, die durch eine 3pferdige Wechselstrommaschine und einen Transformator für 25000 Volt erzeugt sind (Fig. 79, XXVII). Sie sehen deutlich, mit welch gewaltigen Kräften wir es hier zu tun haben.

Ich bin häufig gefragt worden, in welcher Richtung und Ausdehnung eine Verwendung der Funkentelegraphie möglich sein wird. Unsere Kenntnis der in Betracht kommenden Erscheinungen ist bis jetzt eine sehr bescheidene, wir stehen in den allerersten Anfängen, wer wollte heute schon sagen, wie weit und wohin der Weg uns führt. Ich werde mich wohl hüten, vor Ihnen Zukunftsbilder zu entrollen, doch glaube ich mit Sicherheit behaupten zu können, daß die neue Telegraphie für gewisse Verwendungszwecke heute schon reif und beachtenswert ist. Die wichtigsten scheinen auf militärischem Gebiet zu liegen. Belagerte Festungen, vorrückende Armeen, die den Feind zwischen sich haben, könnten sich heute schon der Funkentelegraphie als eines Verständigungsmittels bedienen, welches gleich sicher wirkt am hellen Tage wie bei Nacht und Nebel, allerdings nur bei Benutzung von Luftschiffen, denn

Digitized by Google

die durch Türme, Masten oder hohe Bäume erreichbaren Entfernungen dürften in diesem Falle kaum ausreichen. Größere Heeresmassen sind heute in der Regel mit diesem wichtigen Beobachtungsmittel bereits ausgerüstet.

Gleich naheliegend erscheint der Nutzen für die Marine. Versuche des letzten Sommers haben die Verwendbarkeit von Fessel-Luftschiffen auf hoher See außer Frage gestellt. Es müßte doch wertvoll sein, wenn in einem Kriegsfalle die Schiffe der Nord- und Ostsee in ständiger telegraphischer Verbindung blieben.

Ebenso nahe liegt die Verwendung für Leuchttürme und Feuerschiffe. Die Empfangsapparate lassen sich unschwer in handlicher Form, nicht umfangreicher als ein Chronometer, ausbilden. Sie würden bei Annäherung an einen Leuchtturm nicht nur Zeichen geben, sondern auch den Namen des Leuchtturmes aufschreiben können, es erscheint sogar ausführbar, die Empfangsapparate mit einer verstellbaren Regelung für die Empfindlichkeit zu versehen, welche die Ablesung der Entfernung des Leuchtturmes gestattet. Doch ich fange an, Zukunftsbilder zu entrollen und Sie werden mich Lügen strafen.

Bescheidener, aber nicht unwichtig sind einige Anwendungen, die man in England plant. Dort gibt es einzelne Inseln in der Nähe des Festlandes, die zum Teil Badeorte oder Verteidigungswerke besitzen und für kurze Zeit oder in geringem Umfange eines telegraphischen Verkehrsmittels bedürfen. Die Legung eines Kabels würde zu kostspielig werden, schon mit Rücksicht auf die Zerstörungen durch Ebbe und Flut, die einen baldigen Verschleiß des Kabels bedingen. So will Mr. Preece in nächster Zeit die Inseln Guernsey und Sark durch den Funkentelegraphen verbinden. Für durchaus möglich halte ich die Funkentelegraphie zwischen Dover und Calais. Wie die Zeitungen melden, ist die englische Telegraphenverwaltung mit solchen Versuchen eifrig beschäftigt.

Nun komme ich zu einer Frage, die gleichfalls häufig erörtert wird. Die von einem Sendedraht ausgehenden elektrischen Wellen verbreiten sich gleichmäßig nach allen Richtungen des Raumes. Jeder Empfangsapparat wird davon getroffen und bei geeigneter Empfindlichkeit wird er ansprechen. Jedes Telegramm wird also

Digitized by Google

eigentlich der ganzen Welt mitgeteilt. Das ist unbestreitbar richtig und darin liegt die schwächste Seite der Funkentelegraphie, welche ihre Anwendbarkeit auf ganz besondere Fälle beschränkt.

Für die praktische Verwendung bleibt zunächst nur das Auskunftsmittel der verabredeten Zeichen, falls man sich gegen das Mitlesen der Depeschen sichern will. Die Telegraphie im Kriege würde allerdings sofort unmöglich gemacht, wenn ein feindlicher Strahlapparat eine dauernde Störung der Zeichen bewirkte. Es gäbe einen interessanten Kampf in den Wellen des Äthers.

Trotz dieser unleugbaren Mängel wollen wir uns aber die Freude an der neuen Funkentelegraphie nicht verkümmern lassen. Wir stehen vor ganz eigenartigen Erscheinungen, die ein neues Gebiet der technischen Anwendung soeben erst erschließen. Auch hier wird der Fortschritt nicht ausbleiben. —

Bei den besprochenen Versuchen waren die Pole von Sender und Empfänger stets mit Luftdraht bzw. mit Erde verbunden. Die Verbindung mit der Erde braucht keine besonders innige zu, sein, ein in den Boden gesteckter Säbel, in Wasser gelegter Draht, selbst mit Isolation, falls nur am äußeren Ende der Querschnitt freiliegt, genügen. Unterläßt man die Erdverbindung aber ganz, so wird die Wirkung auf den Empfänger wesentlich geschwächt. Zwischen Matrosenstation und Sacrow konnten wir auch ohne Erdverbindung deutliche Zeichen geben, mit der Pfaueninsel glückte es nicht, die Zeichen rissen ab und wurden unvollständig. Zur Herstellung einer ausreichenden Erdverbindung genügte es auch, wenn der mit guter Isolation versehene Erddraht lose auf den nassen Bodenplanken des Prahmes lag. —

Ich habe einige Versuche angestellt, um zu sehen, ob die senkrechte Führung des Luftdrahtes unter allen Umständen nötig ist. Das ist nicht der Fall. Der folgende Versuch wird Sie davon überzeugen. Benutze ich als Sender den Unterbrechungsfunken dieser kleinen Hausklingel, so spricht die Frittröhre an, wenn ich in unmittelbarer Nähe derselben die Funken erzeuge. Ein Meter ist aber die äußerste Entfernung, auf welche ich gehen darf. Verbinde ich nun die Pole des Fritters einerseits, die Funkenstrecke der Klingel anderseits mit frei ausgespannten, am anderen Ende

Digitized by Google

isolierten wagerechten Drähten von etwa 5 m Länge, so kann ich vom äußersten Ende dieses Saales den Empfänger mit Sicherheit in Tätigkeit setzen. Wir befinden uns nun hier nicht in unmittelbarer Nähe des Erdbodens. Wiederholt man den Versuch im Freien, so bemerkt man, daß die Übertragungsweite abnimmt, sobald man sich mit den wagerechten Drähten dem Erdboden nähert. Beträgt der Abstand aber über 2 m, so kann man auf erhebliche Entfernungen gehen. Als wir bei den anfänglichen Versuchen mit der Pfaueninsel durch luftelektrische Erscheinungen empfindlich gestört wurden, benutzte ich 4 solcher Horizontaldrähte von 0,46 mm Durchmesser von je 100 m Länge, welche etwa 2 m vom Erdboden bzw. von der Wasseroberfläche freihängend an Isolatoren befestigt waren. Wir konnten damit auf 3 km klare Zeichen senden, obwohl zahlreiche Hindernisse, wie Bäume und die mehrerwähnte Landzunge dazwischen lagen. Es ergibt sich daraus die Möglichkeit der Überwindung großer Entfernungen auch ohne die kostspielige Mitwirkung von Luftschiffen. Man müßte allerdings die wagerechten Drähte so hochlegen, daß sie sich sozusagen in ihrer ganzen Ausdehnung sehen können. Zwei gegenüberliegende Küsten könnten auf diese Art wohl am einfachsten telegraphisch verbunden werden, wenn dem Ausspannen kilometerlanger Leitungen an hohen Masten keine Hindernisse im Wege stehen.

Eine tunlichst parallele Lage der Drähte ist aber erforderlich. Ein einfacher Versuch wird dies zeigen. Ich verbinde mit den Polen des Empfängers und der Klingelfunkenstrecke steife Kupferdrähte von etwa ½ m Länge. Ich stelle mich nun mit der Klingel so vor den Empfänger, daß die Drähte parallel liegen, derselbe spricht in dieser Entfernung sicher an. Drehe ich mich aber, so daß die parallele Lage der Drähte aufhört, so versagt der Empfänger schon bei einem Winkel von etwa 30°.

Nach all diesen Beobachtungen neige ich zu der Ansicht, daß das Wesentliche die Länge der Drähte ist und nicht ihre Höhe. Die letztere braucht nur so groß zu sein, daß zwischenliegende Hindernisse in angemessener Entfernung darunter bleiben. Diese Anordnung hätte den nicht zu unterschätzenden Vorteil, daß luftelektrische Störungen sicher ausgeschlossen werden können, denn

Digitized by Google

in gleicher Höhe vom Erdboden ist das elektrische Potential der Luft das gleiche, so daß Entladungen der beiden Drähte durch den Fritter hindurch vermieden werden. Die Aufstellung des Empfängers müßte allerdings isoliert vom Erdboden erfolgen. —

Bei meinen Versuchen habe ich auch eine Beobachtung gemacht, die mancherlei Aussichten eröffnet. Sie bezieht sich auf die Rolle eines in Richtung der fortschreitenden Wellenbewegung des Äthers sich befindenden Drahtes. Als wir im vorigen Winter auf den langen Gängen der Technischen Hochschule mit unseren damals noch unvollkommenen Einrichtungen Versuche anstellten, fiel uns eines Tages auf, daß wir wesentlich weitere Entfernungen erzielen konnten als sonst, obwohl unsere Apparate unverändert waren und in gleicher Weise arbeiteten. Wir entdeckten die Ursache. Es war ein etwa 10 m langes Stück dünnen Drahtes, das von früheren Versuchen auf dem Fußboden ziemlich geradlinig in Richtung unserer Übertragung liegen geblieben war. Als wir ihn aufhoben, war die Wirkung unserer Apparate wieder wesentlich verschlechtert. Weitere Versuche führten zu der Erkenntnis, daß die elektrischen Wellen an Drähten entlang mit viel größerer Leichtigkeit wandern als durch die Luft, ja daß sie die Drähte gleichsam aufsuchen und auf ihrem Wege bevorzugen, wenn sie sich in Richtung der Fortpflanzung der Strahlen erstrecken. Auf der Matrosenstation spannten wir 160 m gut isolierten Drahtes aus, etwa 1 m vom Erdboden. Winzige Klingelfunken, die in der Nähe des einen Endes erzeugt wurden, wirkten auf den Empfänger, der in der Nähe des anderen Endes des Drahtes aufgestellt war. Es war wie eine Sprachrohrwirkung. Ich wiederholte den Versuch mit dem zehnmal längeren Fernsprechdraht, der zur Verbindung der Standorte in die Havel gesenkt war. Ich erzielte nicht die geringste Wirkung, selbst dann nicht, als ich den Draht selber einerseits mit dem Pol des Empfängers, anderseits mit der Kugel des Strahlapparates metallisch verband und die stärksten Entladungsfunken hineinsandte. Es war lediglich die Wirkung der nahen Erde, welche durch die Isolation des Drahtes hindurch die Strahlen ablenkte. Erst in einer gewissen, allerdings nicht großen Entfernung von der Erde wird die Fortpflanzung durch den Draht möglich.

Digitized by Google

Man könnte hierauf vielleicht eine neue Art von Telegraphie mit nur einem Draht und ohne Erdverbindung gründen. Verbände man die Enden des Drahtes mit je einem Pol des Senders und Empfängers, so würde ein winziger Funke seine Wirkungen sicherlich meilenweit tragen. Festzustellen bliebe allerdings, ob die übliche Isolierung der Stützpunkte das Übertreten der Wellen in die Erde ebenso wirksam verhüten könnte, wie den Übergang der Gleichströme bei der gewöhnlichen Telegraphiermethode.

Eine andere Überlegung führt zu merkwürdigen Folgerungen. Die Wirkungen des Gleichstroms pflanzen sich bekanntlich nur in Leitern fort, jede Isolation hemmt ihren Lauf. In welch erstaunlichem Maße dies geschieht, haben wir ja an den Frittröhren gesehen, die trotz ihrer metallischen Füllung durch die winzigen Luftstrecken zwischen den lose aneinander liegenden Körnern die Ausbildung und Fortpflanzung eines Gleichstromes vollkommen verhindern. Gerade entgegengesetzt ist das Verhalten der elektrischen Wellen, die von einer Funkenstrecke mit schnell wechselnden Entladungen ausgehen. Sie dringen mit Leichtigkeit gerade durch die besten Isolatoren, wie die Luft, doch werden sie von Metallen gehemmt; sie werden von diesen zurückgeworfen wie das Licht von einer spiegelnden Fläche. Die an einem Draht entlanglaufenden Wellen dringen darum auch nicht in das Innere, ihre Straße ist der freie Ätherraum ringsherum.

Nun teilt jeder Draht den Raum in zwei Teile, einen Außen- und einen Innenraum, man könnte sie folgerichtig als Außen- und Innenröhre bezeichnen. Füllen die Wirkungen des Gleichstroms nun die innere Röhre, so bleibt die äußere frei für den ungehinderten Fortgang elektrischer Wellen. Es muß also möglich sein, auf einem einzigen Draht zwei Telegramme zu befördern, das eine mit Gleichstrom, das andere mit Funkenstrom, wenn diese Ausdrucksweise gestattet ist.

Ein Versuch wird uns von der Richtigkeit dieser Folgerungen überzeugen. Längs jenen drei Wänden dieses Saales ist ein dünner isolierter Kupferdraht von 0,4 mm Durchmesser ausgespannt und an Porzellanisolatoren befestigt. Die Gesamtlänge beträgt etwa 60 m. Hier an der vorderen Längsseite des Saales befinden sich

Digitized by Google

die freien Enden des Drahtes etwa 20 m voneinander entfernt. Zur Ausführung der gewöhnlichen Stromtelegraphie dient auf der einen Seite eine kleine Akkumulatorenbatterie, deren einer Pol mit Hilfe einer Taste an die Leitung gelegt werden kann, während der andere Pol durch Verbindung mit der Wasserleitung im Nebenzimmer geerdet ist. Auf der andern Seite ist ein Morseschreiber eingeschaltet und die Leitung gleichfalls an Erde gelegt. Sie bemerken, wie ich durch längeres oder kürzeres Niederdrücken der Taste den Morseschreiber in Tätigkeit setzen kann.

In unmittelbarer Nähe des Drahtendes befindet sich ferner auf der einen Seite eine kleine elektrische Hausklingel, durch zwei Trockenelemente betätigt. Den winzigen Unterbrechungsfunken derselben wollen wir als Sender elektrischer Wellen benutzen. Auf der anderen Seite ist unser Marconi-Apparat dicht an den Draht gerückt. Sobald ich einen Funken erzeuge, hören Sie das Geräusch des Klopfers und das Ticken eines angeschlossenen zweiten Morseschreibers. Wir wollen nun zu gleicher Zeit zwei Telegramme senden, und zwar das Wort „Strom" mit der Taste, das Wort „Funke" mit der Klingel (Versuch). Sie sehen, beide Telegramme sind ganz deutlich angekommen, ohne sich zu stören.

Eine kleine Vorsicht ist allerdings zu beobachten. Der Unterbrechungsfunke an der Taste der Stromtelegraphie würde auf den Funkenapparat wirken; ich habe ihn durch einen Nebenschluß von 2000 Ohm unwirksam gemacht.

Ehe dieser Versuch indes eine praktische Bedeutung gewinnen kann, müßte eine Erprobung auf längeren Linien erfolgen.

Möge dieses Beispiel aber zeigen, daß die Anwendung elektrischer Strahlen mit Marconis Erfindung nicht erschöpft ist. Die Natur hat uns ein neues Tor geöffnet, Aufgabe der Wissenschaft ist es zunächst, den erschlossenen Raum zu erhellen.

Eine fesselnde Gedankenverbindung drängt sich uns auf. Wir stehen am Ende eines Jahrhunderts, dessen Beginn uns die Entdeckung des elektrischen Stromes brachte. Länger als 50 Jahre kannten wir nur eine nützliche Verwendung desselben: die Telegraphie. Wer hätte am Anfange des Jahrhunderts seine volle Bedeutung geahnt? Aus dem leichtfüßigen Vermittler der Gedanken

Digitized by Google

wurde der Spender des blendendsten Lichtes, der Lasten tragende Herkules des Verkehrs und der Industrie.

Das Meer der elektrischen Wellen erschließt sich erst jetzt. Wiederum ist es zunächst nur ein leichtes Schiff, das wir getragen sehen. Mehr als ein berückender Traum will es uns aber scheinen, daß dereinst auch schwerere Fahrzeuge auf seinen Wogen dahinziehen. Trägt doch die Wasserwelle nicht nur die leichteste Feder, sondern mit gleicher Willigkeit das belastete Eisenschiff von Ufer zu Ufer; sendet die Sonne doch schon seit Jahrtausenden mit den Wellen des Äthers ungezählte Millionen von Pferdestärken auf die erstarrende kraftarme Erde!

Digitized by Google

6.

Die Marine und die Funkentelegraphie.

(1899.)

Während der praktische Wert der Erfindung Marconis anfangs vielfach bezweifelt wurde, ist derselbe heute, wenigstens für gewisse Verwendungszwecke, unbestritten, und die Marinen aller seefahrenden Nationen sind beschäftigt, die neue Telegraphie als wertvolle Ergänzung der bestehenden Signaleinrichtungen anzunehmen und weiter auszubilden. Man wird in Zukunft beim Entwurf neuer Schiffe für die Unterbringung der Apparate von vornherein Sorge zu tragen und auf eine tunlichst störungsfreie Anordnung der erforderlichen Drahtführungen Rücksicht zu nehmen haben. Aus diesem Grunde dürften auch die schiffbautechnischen Kreise an den Fortschritten der Funkentelegraphie Interesse nehmen. Der mir gestellten Aufgabe glaube ich am besten zu entsprechen, wenn ich zunächst das Prinzipielle der Einrichtungen durch Experimente erläutere, sodann die in letzter Zeit erzielten Fortschritte und zum Schluß die Gesichtspunkte behandle, welche speziell für die Marinezwecke zu beachten sind.

Die neue Telegraphie benutzt, wie bereits ihr Name besagt, ausschließlich Wirkungen, welche von einem elektrischen Funken ausgehen. Man nimmt an, ein unsichtbarer, unendlich feiner Stoff, der alle Körper ebenso wie die Luft und die Weiten des Weltalls gleichmäßig erfüllt, und den man Äther genannt hat, wird durch den Funken so heftig elektrisch erschüttert, daß die Stoßwirkung sich mit dem Charakter einer Wellenbewegung nach allen Richtungen des Raumes verbreitet. Heinrich Hertz hat durch seine vor etwa 10 Jahren angestellten berühmten Versuche bewiesen, daß die von dem Funken ausgehende elektrische Strahlung

Digitized by Google

alle Gesetze des Lichtes befolgt, sich auch mit gleicher Geschwindigkeit fortpflanzt.

Solche wellenförmig sich ausbreitenden Stoßwirkungen, die bei den Licht- und den elektrischen Erscheinungen vorläufig allerdings nur eine rein hypothetische Bedeutung haben, führt uns die Natur anderweitig vor Augen. Schlagen wir kräftig gegen ein ausgespanntes Seil, so sehen wir, wie die Erschütterung sich wellenförmig am Seil entlang fortpflanzt. Wir beobachten eine Welle in einem linearen Mittel. Erschüttern wir den Wasserspiegel durch einen Steinwurf, so sehen wir kreisförmig sich ausbreitende Flächenwellen die Störung weitertragen. Auch eine Geschwindigkeit der Fortpflanzung nehmen wir wahr. Wenn wir träumend am Strande eines spiegelklaren Sees liegen, macht sich die Bugwelle eines fern vorüberfahrenden Dampfers unserm Ohr mit melodischem Geplätscher erst dann bemerkbar, wenn der Dampfer längst außer Sicht ist. Die Flächenwelle erleichtert uns die Vorstellung einer kugeligen Raumwelle, wenn wir sie auch nicht sinnlich wahrnehmen können.

Einen elektrischen Funken müssen wir uns nun als Ausgangspunkt denken für räumliche Ätherwellen. Doch hat diese Eigenschaft nicht der Funke allein. Jeder Wechsel, jede Intensitätsänderung einer elektrischen Erscheinung, z. B. eines Stromes, ruft ähnliche Wirkungen hervor. Am auffallendsten zeigt sie der Wechselstrom. Jeder Wechsel der Stromrichtung erzeugt eine Ätherwelle. Es ist so, wie wenn wir einen und denselben Punkt eines Wasserspiegels in unaufhörlicher Wiederholung mit dem Finger berühren. Ein irgendwo schwimmender Kork tanzt dann nach einiger Zeit in demselben Tempo auf und nieder. Bringen wir in den von elektrischen Wellen erfüllten Raum einen geeigneten Körper, so wird auch dieser in das Wellenspiel mit hineingezogen, er tanzt mit, d. h. elektrisch. Die Wirkung, in diesem Fall ein elektrischer Strom, durchzittert ihn in gleichem Rhythmus.

Ein näheres Studium der Erscheinung zeigt, daß die Wirkung desto weiter reicht, je schneller wir die Wellen erzittern lassen und je heftiger wir den Stoß ausführen, also bildlich gesprochen, je schneller und höher wir die Wellenberge ansteigen lassen. Kurze

Digitized by Google

und intensive Wellen müssen wir also zu erzeugen streben. Die Intensität der Wellen heißt in der Sprache des Elektrotechnikers die elektrische Spannung. Diese können wir durch Transformatoren beliebig steigern. Aber die Erzeugung schneller Schwingungen bietet Schwierigkeiten. Die elektrischen Wellen unserer Maschinen sind, von diesem Gesichtspunkt aus, als außerordentlich langsame zu bezeichnen. Nur hundert Wechsel erzeugen wir in der Sekunde, ebensoviel Stöße erteilen wir dem Äther. Eine hundertfache Steigerung derselben stellt den Konstrukteur der Dynamomaschine noch vor unlösbare Aufgaben. Der erforderlichen Umdrehungszahl des Ankers hielte kein Material Stand. Nennenswerte Fernwirkungen können wir aber erst erwarten, wenn es gelingt, die Schwingungszahl um das Millionenfache zu steigern. Eine solche Maschine brauchen wir jedoch glücklicherweise gar nicht erst zu erfinden, sie ist schon da. Die Natur selber stellt sie uns zur Verfügung — im elektrischen Funken.

Was ist und wie entsteht ein elektrischer Funke? Steigern wir die elektrische Spannung zwischen zwei Körpern über ein gewisses Maß, so tritt ein plötzlicher Ausgleich ein, ein elektrischer Strom, in welchem mitgerissene Metallteilchen zum Glühen kommen — das ist der Funke.

Wir müssen aber zwei verschiedene Arten von Funken unterscheiden. Die eine Art leitet einen dauernden Strom ein, der ein Gleichstrom oder ein Wechselstrom sein kann. — Diese Einrichtung hier soll ihn vor Augen führen (Fig. 80, XXVII). Sobald die elektrische Spannung zwischen den dicken Kupferdrähten eine genügende Größe erreicht hat, springt ein Funke über und stellt dauernde Verbindung her. Es entsteht ein sogenannter Lichtbogen. Durch die hörnerartige Gestaltung der Drähte wird derselbe in dem aufsteigenden Luftstrom auseinandergezogen, bis er zerreißt. Dann bildet sich das Phänomen von neuem aus. In der Flamme des Lichtbogens pulsiert ein Wechselstrom von derselben niedrigen Frequenz, wie ihn unsere Maschine liefert.

Bei der anderen Art des Funkens sammeln wir vorher eine gewisse Elektrizitätsmenge an. Der Ausgleich erfolgt dann heftiger. Er erschüttert nicht nur den Äther, sondern sogar, falls er stark

Digitized by Google

genug ist, die billionenmal dichtere Luft und erzeugt einen heftigen Knall. Die Belegungen dieser Flaschenbatterie hier (Fig. 79, XXVII) wollen wir laden, bis ein solcher Ausgleich erfolgt — wir nehmen blitzartige Erscheinungen wahr. Es ist ein ähnlicher Vorgang wie die Explosion eines Dampfkessels. Treffender noch ist der Vergleich mit der gespannten Sehne einer Armbrust. Lösen wir sie aus, so erzeugt sie einen heftigen Stoß, denn die angesammelte Energie wird plötzlich frei. Aber die Sehne kehrt nicht sofort in die Ruhelage zurück. Ebensowenig die elektrische Erscheinung. Sie zittert im Funken nach in der Form von Wechselströmen mit schnell abnehmender Intensität. Diese pendeln mit erstaunlicher Geschwindigkeit, etwa 10 bis 100 Millionen Mal in einer Sekunde, so daß unser Auge den Wechsel der Erscheinung ohne weiteres gar nicht wahrnehmen kann.

Daß wir es hier tatsächlich mit elektrischen Strömen, und zwar mit Wechselströmen zu tun haben, soll uns ein anderes Experiment zeigen. Wir verbinden mit den Polen einer Funkenstrecke geradlinig ausgespannte Drähte, welche isoliert an den gegenüberliegenden Wänden dieses Saales befestigt sind. Die Pole selbst laden wir mit Wechselstrom, wie ihn unsere Maschine liefert, d. h. mit hundert Wechseln in der Sekunde, unter Zwischenschaltung eines Transformators, um die Spannung zu steigern (Fig. 81, XXVIII). In die geradlinigen Drähte haben wir Glühlampen eingeschaltet. So lange die Kugeln so weit voneinander entfernt sind, daß ein Funke nicht entstehen kann, nehmen wir in diesen Drähten nichts wahr. Der transformierte Wechselstrom pulsiert mit seinen 100 Wechseln in der Sekundärspule des Transformators. Nun wollen wir die Kugeln so weit nähern, daß ein Funke entsteht — sofort leuchten die Lampen auf und zeigen das Vorhandensein eines elektrischen Stromes in den geradlinigen Drähten. Dies kann nur ein Wechselstrom von hoher Frequenz sein, denn wir haben keinen geschlossenen Kreis, wie er vorhanden sein müßte, wenn ein Gleichstrom sich darin ausbilden sollte. So schießt jeder Stromstoß von den Kugeln bis zu den Enden der Drähte und prallt von dort wieder zurück.

Ein solcher Wechselstrom von hoher Frequenz trägt seine Wirkung nun meilenweit durch den Raum. Jeder Funke, von je

Digitized by Google

einer Welle unseres langsam pulsierenden Wechselstroms erzeugt, verursacht ein ganzes Wellenkonglomerat, welches dahinzittert, dahinbraust, möchte ich lieber sagen, wenn die Ätherbewegung nicht geräuschlos wäre (Fig. 82, XXXI). Der erste Wellenberg in diesem Schwall ist aber immer der stärkste; er wird um so schneller ansteigen, sein Stoß wird um so heftiger sein, je schneller die Schwingung ist. Da der Effekt durch die sekundliche Arbeitsleistung bedingt ist, so kommt man hier bei der ungeheuren Geschwindigkeit, mit welcher die Welle sich hebt, auf eine stattliche Zahl von Pferdestärken, die aber nur etwa für den hundertmillionsten Bruchteil einer Sekunde wirksam sind. Der Zeitraum, welcher verstreicht, bis eine neue Entladung einen abermaligen Wellenschwall hervorruft, verhält sich zur Zeitdauer eines Wellenstoßes etwa wie 30 Stunden zu 1 Sekunde. Das Auge nimmt diese Trennung nicht wahr, wir sehen scheinbar nur einen kontinuierlichen Funkenstrom.

Es wird nun aber klar, warum die Pulsationen des Funkens so viel weittragender sind. Mit den langsam pulsierenden Wellen unserer Wechselstrommaschinen können wir ähnliche Effekte niemals erzielen. Ihre Wirkung verhält sich zu dem Stoß der Funkenpulsationen wie ein sanfter Backenstreich zu dem Schlag der Kanonenkugel gegen die Panzerplatte.

In geeignet gestalteten leitenden Körpern, welche die Ätherwellen auf ihrem Wege treffen, erzeugen sie wiederum elektrische Wechselströme, ähnlich wie die Wasserwelle einen schwimmenden Kork in auf- und niedergehende Bewegung versetzt. Aber diese Fähigkeit erlahmt, je weiter sich die Ätherwellen von ihrem Ausgangspunkte entfernen. Sie nimmt ab mit dem Quadrat der Entfernung, genau so wie die Lichtintensität, die von einem leuchtenden Punkte ausstrahlt. Ist doch die Lichtquelle auch nur eine Erschütterungsstelle im Äther, von der eine Wellenbewegung ausgeht, allerdings mit einer wiederum millionenmal schnelleren Schwingung. Unendlich klein werden deshalb auch nur die Kraftäußerungen sein können, welche die Ätherwellen in meilenweiter Entfernung ausüben. Aber wie der winzigste Bazillus, wenn er zu Milliarden anrückt, den kräftigsten Organismus zerstören kann, so können sich auch zahllose feine Ätherstöße zu einer Ge-

Digitized by Google

samtwirkung von beträchtlicher Größe vereinigen. Zu diesem Zweck muß man die Ätherwellen allerdings erst zu einer bestimmten Marschordnung veranlassen. Verbindet man mit der Funkenstrecke geradlinige Leiter, so gehen die Wellenstöße hauptsächlich von diesen aus und sind polarisiert, d. h. die Ätherteilchen schwingen nur in einer Richtung, nämlich in derjenigen, welche dem aussendenden Leiter parallel ist. Ihre Wirkung nimmt jetzt nicht mehr mit dem Quadrat, sondern nur mit der einfachen Entfernung ab. Treffen sie auf ihrem Marsch in dieser straffen Formation einen anderen linearen Leiter, so ziehen sie sich von allen Seiten dorthin zusammen, gleichsam wie ein Fliegenschwarm an der Leimrute. Es findet ein konzentrierter Massenangriff statt, der an dem Draht entlang in dichtem Gewühl ein stürmisches Auf- und Abwogen elektrischer Kräfte oder mit andern Worten einen pulsierenden Wechselstrom von hoher Frequenz hervorruft. Eine erstaunliche Verstärkung der Wirkung läßt sich durch solche Sende- und Empfangsdrähte erzielen. Eingehende Messungen zeigten mir, daß die Wirkung von den beiderseitigen Drahtlängen abhängt und fast genau mit dem Produkt derselben zunimmt. Bei gleichen Drahtlängen am Sender und Empfänger verhalten sich die Wirkungen mithin wie die Quadrate der einzelnen Drahtlängen, und da, wie vorhin schon bemerkt, die Wirkungen mit den einfachen Entfernungen abnehmen, so folgt daraus, daß die Entfernungen, auf welche man gleiche Wirkungen übertragen kann, sich verhalten wie die Quadrate der einzelnen Drahtlängen. Ein Beispiel wird die große Bedeutung dieses Satzes klarer machen. Erzielt man mit 10 m Draht auf beiden Seiten eine bestimmte Wirkung in 5 km Entfernung, so kann man die gleiche Wirkung mit 20 m Draht bis zu einer Entfernung von $4 \times 5 = 20$ km wahrnehmen, mit 30 m bis zu $9 \times 5 = 45$ km. Ein herrliches Gesetz für Fernwirkungen, welches fast unbegrenzte Ausdehnung zuläßt.

Zum Erkennen der im Empfangsdraht induzierten Wechselströme stehen uns verschiedene Mittel zu Gebote; wir können aber nur die empfindlichsten benutzen. Geeignet ist z. B. das Telephon. Hier vorn im Saal erzeugen wir eine Funkenstrecke

Digitized by Google

und polarisieren die Schwingungen durch die von den Polen ausgehenden isolierten Horizontaldrähte. Die Schwingungen des Äthers vollziehen sich dann in diesem ganzen Saal in horizontaler Richtung. Als Empfänger dienen zwei gleichfalls horizontal ausgespannte Drähte, dort hinten im Saal, deren mittlere Enden mit dem Telephon verbunden sind. Sobald ich hier vorn Funken erzeuge, hören Sie im Telephon einen Ton (Fig. 83, XXIX). Er entspricht der Schwingungszahl unseres primären Wechselstromes (100 in 1 Sek.), denn die Schwingungen des Funkenstromes selber erfolgen zu schnell, als daß sie das Ohr noch wahrnehmen könnte: die Grenze der hörbaren Töne liegt ja bekanntlich unter 20000 Schwingungen in der Sekunde und in dem erzeugten Funken haben wir etwa 10 Millionen. Durch kurze und längere Funkengebung kann ich die Zeichen des Morse-Alphabets telegraphieren ohne verbindenden Draht.

Die mit diesem Mittel erreichbare Entfernung kann immerhin mehrere Kilometer betragen, wenn die Sende- und Empfangsdrähte von entsprechender Ausdehnung sind. Es ist sogar möglich, die zusammengesetzten langsamen Schwingungen der Sprache von Draht zu Draht durch den Raum zu übertragen. Dieses Experiment erleben wir alle Tage, zu unserem Verdruß, wenn wir am Telephon vielleicht auf eine wichtige Familiennachricht lauschen und dazwischen zugleich den Auftrag zu einem Effektenverkauf für Herrn Mayer in Empfang nehmen müssen. Das ist eine Telephonie ohne Draht, die also gar nicht mehr erfunden zu werden braucht. Sie reicht allerdings nur von einem zum anderen Draht am gleichen Gestänge.

Um die schnellen Wellen des Funkenstromes selber für eine Zeichengebung nutzbar zu machen, wollen wir uns einer Einrichtung bedienen, welche gewissermaßen als die Umkehrung des Wellenerzeugers angesehen werden kann, indem wir nämlich mit den aufgefangenen Ätherwellen, mit den in den Empfangsdrähten induzierten Wechselströmen wiederum Funken erzeugen (Fig. 84, XXIX). Ein Experiment wird die Sache am schnellsten klar machen. Ich habe hier zwei Stückchen poröser Kohle, welche bis auf eine sehr kleine Entfernung genähert sind. Die samtartige Oberfläche

Digitized by Google

der Kohle besteht aus lauter mikroskopischen Spitzchen. Verbinde ich die Kohlen nun mit den von den Strompulsationen durchwogten Empfangsdrähten, so spritzen die elektrischen Wellen gleichsam zwischen den Spitzen wie über ein Hindernis, wir nehmen ein Funkensprühen wahr. Es ist eine Bogenlampe en miniature, gespeist durch Ätherwellen. Ich kann den Beweis führen, daß das Funkensprühen tatsächlich durch die schnellen Pulsationen hervorgerufen wird. Erzeuge ich nämlich, wie vorhin, einen Wechselstromlichtbogen mit den geringen Schwingungszahlen, so hört das andauernde Funkensprühen an unserem Empfänger auf. Wir nehmen nur einen Funken wahr, wenn der Lichtbogen einsetzt, erkennen also den damit verbundenen Ätherstoß. In dem ausgebildeten Lichtbogen sind keine Funkenpulsationen mehr vorhanden, sondern nur die langsamen Schwingungen des Wechselstromes. Auf dieses Streicheln spricht unser Empfänger nicht an, es gehört ein Stoß dazu.

Wir können diese winzigen Funken benutzen, um größere Kräfte damit auszulösen. Mit Leichtigkeit könnte ich einen Sprengstoff zur Explosion bringen. Ich will ein weniger geräuschvolles Experiment machen. Dort hinten im Saal steht eine Bogenlampe. Die Kohlenstäbe sind mit den Polen einer Akkumulatorenbatterie verbunden, berühren sich aber nicht, so daß ein Strom nicht übertreten kann. Mit den Kohlenstäben sind ferner die langen Auffangearme für die elektrischen Wellen verbunden. Das durch diese Wellen erzeugte Funkensprühen stellt eine leitende Brücke her zwischen den Kohlenstäben und schließt den Strom der Akkumulatorenbatterie. Ein einziger Funke am Strahlapparat hier vorn genügt, die Lampe zum Leuchten zu bringen.

Mit solcher Einrichtung könnte man bereits telegraphieren, müßte aber Vorsorge treffen, daß nach jeder Entzündung der Bogenlampe der Strom der Akkumulatorenbatterie wieder unterbrochen würde. Ich kann die Unterbrechung aber zu einer selbsttätigen machen, wenn ich an die Stelle der Bogenlampe eine gewöhnliche Glühlampe setze. Der geringe Strom, der dieselbe durchfließt, unterbricht sich sofort von selber, sobald das Funkensprühen an den Kohlenstücken aufhört. Wie Sie sehen, kann ich selbst die

Digitized by Google

Zeichen des Morsealphabets durch kürzeres oder längeres Erglühen der kleinen Lampe zur Wahrnehmung bringen.

Die Pulverkammer eines feindlichen Schiffes durch solche Fernwirkung zur Explosion zu bringen, erscheint hiernach als keine unlösbare Aufgabe. Der Feind müßte uns allerdings den Gefallen tun, in seinem Pulvervorrat die Kohlenstückchen unterzubringen und dieselben mit langen Auffangedrähten in freier Luft zu verbinden. Für die Funkengebung an Bord gewinnt dieser Scherz aber doch eine ernstere Bedeutung. Es erscheint nämlich nicht ausgeschlossen, daß die Lichtleitungen in unerwünschter Weise die Rolle von Auffangedrähten übernehmen. Kommen sie an irgendeiner Stelle sich allzu nah und sind sie zugleich mangelhaft isoliert, so kann durch minimales Funkensprühen der schönste Kurzschluß zwischen den Leitungen entstehen. Bei sonst guter Installation bringt dies keinen weiteren Schaden, als daß die Sicherungen durchbrennen. An Bord S. M. S. „Friedrich Carl" haben wir dies tatsächlich erlebt. Jedenfalls ist bei der Einrichtung der Funkentelegraphie an Bord dieser Umstand zu beachten und eine Revision der Leitungen nach diesem Gesichtspunkt erforderlich. Auch die Anker aller Dynamomaschinen an Bord können durch solche Funkenbildung durchschlagen werden, sie sind infolgedessen mit Blitzsicherungen zu versehen. Die Munitionskammern sind durch ihre völlige Metallumkleidung ausreichend geschützt, Lichtleitungen dürfen meines Wissens schon jetzt nicht eingeführt werden.

Marconi verwendet zur Zeichengebung ganz ähnliche Einrichtungen wie die zuletzt geschilderten (Fig. 85, XXIX). Die Engländer nennen sie coherer, die Franzosen radioconducteur, wir Fritter.

Die Gesetze der elektrischen Strahlung sind durch die Versuche von Hertz seit 10 Jahren bekannt; die Eigenschaften des Fritters hat Branly in Paris im Jahre 1890 entdeckt. Im Jahre 1895 machte Popoff in St. Petersburg die erste praktische Anwendung der neuen Erscheinungen zum Registrieren von Gewitterentladungen. Er benutzte einen Aufnahmeapparat, der mit dem von Marconi später verwendeten im Prinzip völlig übereinstimmt. Marconis Verdienst besteht zunächst in einer sorgfältigen Durchbildung der

Digitized by Google

Apparate zur praktischen Telegraphie. Bei seinen Versuchen gelangte er aber zu der wichtigen Entdeckung der fast unbegrenzten Fernwirkung vertikal polarisierter elektrischer Wellen.

Drei Jahre sind jetzt verflossen, seit seine Erfindung an die Öffentlichkeit trat. Welche Fortschritte sind seitdem erzielt? Dieselben beziehen sich einerseits auf eine bessere Kenntnis der Erscheinung und ihrer Gesetze, andererseits, zum Teil als direkte Folge davon, auf eine Steigerung der technischen Wirkung.

Ich gestatte mir zunächst, eine theoretische Anschauung, zu welcher meine Versuche führten, kurz auseinanderzusetzen. Dieselbe war für die technische Ausbildung des Verfahrens nicht ohne Nutzen. Diese Erkenntnis, die eigentlich eine Enttäuschung in sich schließt, ist die Erklärung des Phänomens durch elektrische Stoßwirkungen, wie ich sie bereits im Beginn meines Vortrages angegeben habe. Es bestand anfänglich die Hoffnung, durch klarere Ausbildung des Wellencharakters der elektrischen Störung eine Abstimmung der Empfangsapparate auf ganz bestimmte Wellenlängen zu erreichen. Ich habe mich leider nur von der Aussichtslosigkeit dieser Bestrebungen überzeugen können. Der Fritter ist nicht mit einem Pendel zu vergleichen, welches durch zahlreiche in bestimmten Intervallen erfolgende Impulse von geringer Intensität allmählich in lebhaftere Schwingungen versetzt wird. Er befindet sich vielmehr in einer Art von labilem Gleichgewicht und wird durch einen elektrischen Stoß sofort zum Kippen gebracht.

Hieraus ergibt sich indes die wichtige Folgerung, daß in erster Linie eine hohe sekundliche Energie der Stöße des Funkengebers anzustreben ist. Diese hängt aber nicht allein von der Spannung, sondern auch von der Elektrizitätsmenge ab, welche wir bei der Funkenbildung auslösen. Es ist genau so wie beim freien Fall der Körper. Lösen wir ein hängendes Gewicht aus, indem wir den Faden durchschneiden, so werden wir einen desto stärkeren Stoßeffekt beim Aufschlagen des Gewichtes erzielen, je größer neben der Fallhöhe auch die in Bewegung gesetzte Masse des Körpers ist. Die Funkenlänge allein, welche der angewandten elektrischen Spannung entspricht, tut es nicht, es muß in dem Funken auch eine möglichst große Elektrizitätsmenge pulsieren. Sehen wir uns daraufhin die

Digitized by Google

üblichen Funkengeber an. Es sind die gebräuchlichen Induktionsapparate, für deren Konstruktion nur die Erzeugung möglichst hoher Spannungen maßgebend ist. Man klassifiziert ja auch die Induktionsapparate lediglich nach der Schlagweite des Funkens, indem man von einem 20- oder 30-cm-Induktor spricht. Die Elektrizitätsmengen, die dabei in Bewegung gesetzt werden, sind minimal. Man kann sie etwas vergrößern, indem man die Funkenlänge verkleinert.

Über die aufgewandte Leistung gibt eine kleine Rechnung Auskunft. Gewöhnlich arbeitet man mit einem Primärstrom von 5 bis 7 Ampere und einem 8-zelligen Akkumulator, der rund 16 Volt Spannung besitzt. Dies gibt eine sekundliche elektrische Leistung von etwa 100 Watt. Da die Induktionsapparate einen sehr geringen Wirkungsgrad haben, so wird man bei dauernder Funkengebung kaum mehr als 50 Watt, d. i. etwa $^1/_{15}$ Pferdestärke auf Erzeugung elektrischer Wellen verwenden können. Für den ersten Funkenstoß wird natürlich die sekundliche Energie eine wesentlich größere sein. Immerhin wird die verbrauchte Primärarbeit einen vergleichenden Maßstab bieten können. Zur Erzielung größerer Funkeneffekte wird man also von den Induktionsapparaten abgehen und Dynamomaschinen an ihre Stelle setzen müssen.

Es bietet nun keine Schwierigkeit, durch Wechselstrommaschinen und Transformatoren hochgespannte elektrische Energie mit beliebigen Elektrizitätsmengen zu erzeugen. Die Anwendung von Maschinen zur Funkenerzeugung verlangt aber ein vollständiges Verlassen der Schaltung Marconis.

Die Skizze (Fig. 86, XXIX) zeigt eine Einrichtung, welche 1899 an Bord der deutschen Kriegsschiffe funktionierte. Die Wechselstrommaschine *W*, durch einen Elektromotor getrieben, speist die Primärwindungen des Hochspannungstransformators *T*, dessen Sekundärwindungen mit den Polen *A* und *B* verbunden sind.

Der von diesen Polen ausgehende Schwingungskreis ist ein durch Erde geschlossener, besteht aber aus zwei in ihren Aufgaben und Wirkungen verschiedenen Teilen. Der Unterschied ist bedingt durch die sogenannte Selbstinduktion. Der Elektrotechniker bezeichnet mit diesem Namen eine Art von Trägheit, welche

Digitized by Google

jeder Wechselstrom besitzt, der sich in einer Leitung ausbildet. Die Leitung selbst bietet für einen Wechselstrom gewissermaßen einen zusätzlichen Widerstand, der sich zu dem gewöhnlichen Widerstand addiert. Die Größe dieses Zusatzwiderstandes ist aber abhängig von der Wechselzahl des Stromes; für Hochfrequenzströme kann er so enorme Beträge erreichen, daß die Ausbildung solcher Ströme fast völlig unmöglich gemacht wird. Durch Form und Anordnung der Drähte können wir aber auf die Größe der Selbstinduktion einen Einfluß ausüben. So haben metallische Bänder oder Röhren oder Drahtkäfige, ähnlich wie die hier im Saal angewandten, eine wesentlich geringere Selbstinduktion als dünne Drähte. Nun sind die Vertikalleiter *AC* und *BE* als solche Körper von tunlichst geringer Selbstinduktion ausgebildet, während die Verbindung *CD* von der Spitze zur Erde eine ziemlich hohe Selbstinduktion besitzt. In dem geschlossenen Kreise befindet sich ferner ein Kondensator *Q*, der fähig ist, große Elektrizitätsmengen aufzunehmen. Die Wirkungsweise der Anordnung ist nun die folgende: Die Wechselstrommaschine ladet unter Vermittlung des Transformators die Funkenstrecke *AB* zu so hoher Spannung, daß die oszillatorische Entladung einsetzt. Während der Ladeperiode, d. h. vor Auftreten des Funkens, ist die Sekundärspule des Transformators durch den gesamten Schwingungskreis inkl. Erde und Kondensator geschlossen. Der mit *A* verbundene Teil des Kreises liegt durch den Draht *CD* an Erde, behält also nahezu in seiner ganzen Ausdehnung die Spannung der Erde, die Ladung erfolgt fast ausschließlich in den Kondensator. Die Selbstinduktion hat bei diesem Vorgang zwar Einfluß, angesichts der geringen Periodenzahl des Wechselstroms aber keinen erheblichen. Dies ändert sich jedoch sofort, sobald durch die Funkenbildung der Entladungsstrom mit seiner ungeheuren Frequenz einsetzt. Für diesen wirkt die hohe Selbstinduktion in dem Drahte *CD* wie eine Absperrung, und es bilden sich die schnellen Oszillationen, die den Äther erschüttern, fast nur in dem vertikalen Leiter mit geringer Selbstinduktion aus. Nun sind aber daran beteiligt die gewaltigen Elektrizitätsmengen, die vorher in dem Kondensator aufgespeichert wurden. Es ist klar, daß wir jetzt

Digitized by Google

ganz andere Energiewerte in Strahlung umsetzen können wie mit einem Ruhmkorffschen Induktor.

Eine ähnliche geschlossene Schaltung empfiehlt sich auch für den Empfänger (Fig. 87, XXIX), wenn auch aus anderen Gründen. Bei Marconis Anordnung ist der Fritter einerseits mit einem isolierten Vertikaldraht, andererseits mit Erde verbunden. In einer Parallelschließung zum Fritter befindet sich das Relais mit seinem Trockenelement. Es ist klar, daß alle vom Vertikaldraht aufgefangenen elektrischen Impulse zwar einerseits die Möglichkeit haben auf den Fritter zu wirken und denselben unter Funkenbildung zu einem Leiter zu machen, andererseits aber auch durch den Relaiskreis unter Umgehung des Fritters direkt zur Erde wandern können. Der Impuls wird sich also teilen und nicht in seiner vollen Stärke im Fritter zur Wirkung kommen. Marconi hat diesen Übelstand dadurch zu vermindern gesucht, daß er in den Relaiskreis Spulen mit großer Selbstinduktion geschaltet hat; das ist ein gutes Mittel, denn die Selbstinduktion sperrt den Weg für die schnellen Schwingungen, es ist aber kein unschädliches Mittel, denn der hohe Widerstand der Selbstinduktionsspulen schwächt die Empfindlichkeit des Relais. Wenn man dagegen auch hier das obere Ende des Vertikalleiters von geringer Selbstinduktion mit der Erde verbindet und in die Erdverbindung des unteren Endes das Relais und seine Batterie schaltet, so müssen die vom Vertikalleiter aufgefangenen schnellen Schwingungen fast ohne Abzug durch den Fritter zur Erde übergehen.

Eine weitere Neuerung bezieht sich auf die Konstruktion des Empfangsapparates. Bei der auch von Marconi benutzten Popoffschen Schaltung wird der Relaisstromkreis durch den Schlag des Klopfers auf die Frittröhre, also im Fritter selbst unterbrochen. Nun ist bekannt, daß der Öffnungsfunke eines Stromkreises viel verderblichere Wirkung auf die Kontaktstellen ausübt als der Schließungsfunke. Den letzteren brauchen wir zur Zeichengebung, die damit verbundene Abnutzung der feinen Spitzen und Kanten des Fritterpulvers müssen wir also in den Kauf nehmen. Anders ist es mit dem Öffnungsfunken, der nur Schaden stiftet aber keine Vorteile bietet. Man kann die Einrichtung so treffen, daß durch einen besonderen federnden Kontakt die Unterbrechung

Digitized by Google

des Relaiskreises außerhalb des Fritters und vor dem eigentlichen Schlage des Klopfers erfolgt. Diese Anordnung gestattet nicht nur eine längere Erhaltung der Empfindlichkeit des Fritters, sondern bedingt auch eine promptere Auslösung desselben.

Diese drei Neuerungen ergaben sich vor etwa Jahresfrist im Anschluß an die Potsdamer Versuche. Sie entstanden aus gemeinsamer Arbeit mit meinem damaligen Assistenten, Herrn Graf Arco.

Ich komme nun zur Anwendung der Funkentelegraphie in der Marine. Auf offener See arbeitet dieselbe unter den günstigsten Bedingungen. Man kann sagen, daß mit den gleichen Einrichtungen über See zwei- bis dreimal so große Entfernungen überwunden werden können, wie über Land. Woran liegt das? Früher glaubte ich, die größere Reinheit und Staubfreiheit der Atmosphäre sei die Ursache. Das ist aber nicht der Fall, denn schon das Telegraphieren an der Meeresküste entlang reduziert die Entfernung, die Luft dürfte dort nicht weniger rein sein als auf offener See. Vielleicht ist die Tatsache einer eigentümlichen Flächenwirkung der See zuzuschreiben. Die von einem Funken ausgehenden elektrischen Störungen pflanzen sich zwar nach allen Richtungen durch den Raum fort, sie gleiten aber mit Vorliebe an Leitern und Halbleitern entlang, wenn diese sich in der Richtung der Fortpflanzung erstrecken. Eine Fläche hat ähnlich günstige Wirkungen. Rückt man Geber und Empfänger des Funkentelegraphen dicht an die glatte freie Wand eines großen Saales, so erreicht man fast doppelt so große Entfernungen, als wenn die Apparate in der Mitte des Saales stehen. Ich hatte, um Messungen anzustellen, einen großen Saal meines Laboratoriums völlig ausräumen lassen und konnte an der langen Wand desselben die Tatsache immer konstatieren. Man ist geneigt, an besondere Flächenströme zu glauben. Vergleicht man nun die Meeresfläche, selbst bei bewegter See, mit der Bodenfläche des Landes, so erkennt man sofort einen großen Unterschied. Dort sind es die glatten Flächen der Wellen, an denen die elektrischen Impulse dahineilen, hier sind unendlich viel größere Wege zu durchmessen, denn wir müssen uns denken, daß an jedem Stein, ja an jedem Sandkörnchen, an jedem Grashalm die elektrischen Wellen hinauf- und hinabgleiten.

Digitized by Google

Hierzu tritt ein anderer bemerkenswerter Umstand. Wenn wir vertikale Sende- und Empfangsdrähte benutzen, so sind die elektrischen Wellen vertikal polarisiert. Treffen sie nun auf ihrem Wege einen anderen vertikalen linearen Leiter entsprechender Ausdehnung, so bleiben sie gleichsam an diesem kleben und erzeugen in ihm einen pulsierenden Wechselstrom. Wir können uns leicht durch einen Versuch davon überzeugen.

Es ist jetzt verständlich, warum alle linearen Erhebungen im Terrain, wie Baumstämme, Masten, Fahnenstangen, Schornsteine und Kirchtürme so außerordentlich hinderlich sind für die Funkentelegraphie. Das Telegraphieren über eine große Stadt fort, hat, falls man nicht Luftballons zum Tragen langer Drähte benutzen kann, mit enormen Schwierigkeiten zu kämpfen.

Auch die Feuchtigkeit spielt hierbei eine Rolle. Auf der See stört weder Nebel noch Regen. Auf dem Lande ist das anders. Bäume, Masten und Bauwerke sind für gewöhnlich Halbleiter, in feuchtem oder gar durchnäßtem Zustande verbessert sich ihre Leitungsfähigkeit. Sie saugen die elektrischen Wellen desto gieriger an und laden sie ein, an ihnen zu verweilen. Ich habe mein Laboratorium hier mit meinem Wohnhause in Charlottenburg durch einen Funkentelegraphen verbunden. Wenn auch die Entfernung keine sehr große ist, so müssen die elektrischen Wellen doch durch zahlreiche Hindernisse hindurch. Bei nassem Wetter muß ich nun die Funkenkraft wesentlich verstärken, um deutliche Telegramme zu erhalten. Auf der See kommen solche Hindernisse nicht in Frage. Selbst im dichtbesetzten Hafen sind die Masten der Schiffe immer noch weit genug verteilt, als daß sie die elektrische Strahlung ernstlich behindern könnten.

Anders ist es aber nun mit den Masten, Wanten und Drahtseilen der direkt beteiligten Schiffe. Diese bieten ein ernstliches Hindernis. Jedes Schiff ist hierbei als ein besonderes Individuum aufzufassen. Einrichtungen, die an Bord des einen Schiffes sich als vortrefflich erwiesen hatten, liefern auf anderen Schiffen wesentlich minderwertige Resultate, ohne daß man sofort ausreichende Gründe dafür erkennen kann. Hier wird die Erfahrung einsetzen müssen, die allerdings nur gewonnen werden kann in andauerndem Betriebe.

Digitized by Google

In bezug auf die Verwendung der Funkentelegraphie ist mir im allgemeinen die Sicherheit und Präzision, mit welcher die Apparate von den Mannschaften unseres vortrefflichen Maschinenpersonals bedient wurden, angenehm aufgefallen. Ich möchte dies um so mehr betonen, als man gerade hierüber nicht selten Bedenken hört. Man glaubt, es handle sich um diffizile physikalische Apparate, die nur von gelehrten Leuten verstanden und bedient werden können. Das ist nicht der Fall. Die an den Versuchen beteiligten Obermaate waren über den wissenschaftlichen Zusammenhang ausreichend orientiert und legten meinen Assistenten und mir nicht selten Fragen vor, die an Gründlichkeit und Verständigkeit nichts zu wünschen übrig ließen, sie konnten leider nicht immer mit gleicher Verständigkeit beantwortet werden. Bei den mehrmonatlichen Versuchen waren hin und wieder kleine Störungen und Abänderungen an den Apparaten unvermeidlich, dieselben konnten fast immer von dem Maschinenpersonal an Bord beseitigt werden. Der empfindlichste und wichtigste Teil des Apparates ist der Fritter. Seine Herstellung wird nicht selten mit einem gewissen Geheimnis umgeben. Nun, die größte Entfernung, auf welche an Bord S. M. S. Friedrich Carl telegraphiert wurde, 48 km mit 30 m Draht, erreichte man mit einem Fritter, den der Obermaat nach kurzer Anleitung an Bord sich selber fabriziert hatte. Der Mann war ein gelernter Schlosser. Die Funkentelegraphenapparate sind in dieser Beziehung also nicht etwa mit einem Chronometer zu vergleichen, dessen Reparatur man an Bord wohl nicht so leicht unternehmen würde.

Digitized by Google

7.

Abgestimmte und mehrfache Funkentelegraphie.

(22. Dezember 1900.)

Im Konferenzsaal der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft.

Die Funkentelegraphie hat in letzter Zeit mehrfach praktische Anwendung gefunden. Am frühesten hat sich die Marine von den Vorteilen überzeugt, welche diese Telegraphie für sie bietet, und die Kriegsschiffe Englands, Frankreichs, Rußlands und Deutschlands sind heute bereits zum großen Teile mit den neuen Apparaten ausgerüstet. Die hohen Summen, welche die englische Marconi-Gesellschaft für die Benutzung ihrer Einrichtungen verlangte (es handelte sich für jeden Staat um mehrere Millionen), machte es den Seemächten, mit Ausnahme Englands, schwer, Marconis Erfindung zu erwerben. Desto eifriger entwickelte sich in diesen Ländern das Bestreben, die nunmehr bewiesene Möglichkeit, mit elektrischen Wellen praktisch zu telegraphieren, durch andere technische Mittel zu erreichen.

Der Wunsch, auch unserer Marine ohne große Opfer die Funkentelegraphie zugänglich zu machen, war für mich die Veranlassung, ein anderes System auszubilden. Im Verein mit meinem damaligen Assistenten Herrn Grafen von Arco gelang es mir auch, eine neue Methode zu finden, über welche ich im vorigen Jahre berichtet habe. Diese Methode ist sodann von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft technisch weiter gebildet worden und schließlich in der deutschen Marine zur Einführung gelangt. Seit etwa Jahresfrist ist dieselbe auf einer Reihe von deutschen Kriegsschiffen im Gebrauch und hat sich, wie ich gehört habe, auch bewährt.

Unsere damaligen gemeinschaftlichen Studien hatten aber, wie ich dies in meinem vorjährigen Vortrage auch ausgeführt habe, für

Digitized by Google

mich wenigstens mit einer gewissen Enttäuschung geendet; es war uns nicht gelungen, etwas Besseres zu finden, wir konnten günstigenfalls nur eine ähnliche Leistung aufweisen wie Marconi. Im besonderen war unser Hauptbestreben, eine Abstimmung zwischen den korrespondierenden Apparaten zu erreichen, um ohne Störung durcheinander telegraphieren zu können, als gescheitert zu betrachten, und ich kann nicht leugnen, daß ich mich noch vor Jahresfrist etwas skeptisch in bezug auf diese Möglichkeit überhaupt ausdrückte. Aber die Funkentelegraphie läßt den, der in ihren Bann geraten, nicht sobald wieder frei. Trotz aller früheren Enttäuschungen nahm ich das Studium im Sommer dieses Jahres von neuem wieder auf, diesmal mit größerem Glück. Ich fand einige neue Gesichtspunkte, welche die Möglichkeit einer sicheren Abstimmung in unmittelbare Nähe rückten. Herr Geh.-Rat Rathenau hatte die Güte, die Erprobung der neuen Methoden mit den Kräften des Kabelwerks Oberspree unter der sachkundigen und genialen Leitung des Grafen Arco durchführen zu lassen, und was wir heute zeigen können, ist das Resultat einer Anfang Oktober begonnenen gemeinschaftlichen Arbeit, bei der Graf Arco in der Überwindung zahlreicher technischer Schwierigkeiten allerdings das meiste geleistet hat.

In einen ausgespannten Draht leiten wir die Erschütterungen des Funkens, den ein kleines Ruhmkorffsches Induktorium erzeugt. Aus einem zweiten, jenem in 1 m Entfernung parallel gezogenen Draht, der nicht die geringste metallische Verbindung mit dem ersten hat, können wir 4 bis 5 cm lange Funken ziehen. Im Dunklen sehen wir beide Drähte gleichmäßig leuchten. Die strenge Gesetzmäßigkeit, welche dieser Erscheinung zugrunde liegt, hat Hertz uns völlig klar gelegt, der Techniker hat nichts weiter getan, als Mittel gesucht, diese Wirkung wesentlich zu steigern.

Die elektrische Erscheinung in diesen Drähten ist eine oszillierende, die wahrgenommene elektrische Spannung ist eine Wechselspannung, welche 5 millionenmal in einer Sekunde zwischen ihren positiven und ihren negativen Maximalwerten pulsiert. Wechselspannungen von dieser ungeheuren Frequenz sind unschädlich für den menschlichen Körper, an den trägen Nerven prallen sie

Digitized by Google

wirkungslos ab. Pulsierten sie einige hunderttausendmal langsamer, so hätte ich die Berührung nicht wagen dürfen.

Die Wechselspannungen sind aber nicht gleichmäßig verteilt über die ganze Länge des Drahtes. Um sie sichtbar zu machen, habe ich sie auf photographische Platten einwirken lassen. Das entwickelte Bild zeigte deutlich eine Zunahme der Wirkung von der Funkenstrecke nach dem freien Ende des Drahtes hin.

Diese Tatsache legt es nahe, eine analoge mechanische Erscheinung zu betrachten. Wenn man einen geraden Stahldraht mit dem einen Ende in einem Schraubstock festspannt und das freie Ende erschüttert, so stellen sich Schwingungen ein, welche einen ähnlichen Charakter haben. Die Ausbiegungen, Amplituden genannt, sind am freien Ende des Drahtes am größten (Fig. 88, XXX). Genau so ist es hier, wenn wir die elektrischen Wechselspannungen als das Analoge jener mechanischen Ausbiegungen ansehen. Auch die Übertragung der Wirkung durch Wellenbewegung auf einen zweiten Draht können wir in diesem mechanischen Bilde veranschaulichen. Biege ich den Stahldraht zu einem rechten Winkel mit gleichlangen Schenkeln und klemme ich nunmehr den Winkelpunkt fest, so wird jede Erschütterung des einen Drahtendes auf das andere übertragen. Es geschieht dies durch den festen Punkt hindurch, den man infolgedessen als den Knotenpunkt der Schwingung bezeichnet, während die am stärksten schwingenden Teile die Schwingungsbäuche genannt werden.

Allerdings darf, soll das Experiment gut gelingen, der Knotenpunkt nicht völlig festgehalten werden, er muß geringe Erschütterungen zulassen. Die Frequenz der Erschütterungen des Knotenpunktes muß aber eine solche sein, daß sie den Eigenschwingungen desjenigen Stahldrahtes entspricht, auf welche die Bewegung übertragen werden soll. Es ist klar, daß bei gleicher Länge der Schenkel diese Bedingung besonders gut erfüllt ist.

Die auf den zweiten Schenkel übertragene Bewegung können wir nun aber weiterleiten. Biegen wir einen Stahldraht von der 6fachen Länge des freien Schenkels zweimal unter einem rechten Winkel wie Fig. 89, XXX zeigt, so wird der Schwingungsbauch 2 sich der Verlängerung des Drahtes mitteilen und bei 3 einen freien Knoten-

Digitized by Google

punkt, bei *4* wiederum einen Bauch erzeugen. Von hier aus teilt sich endlich die Bewegung durch den festen Knotenpunkt *5* dem Vertikaldraht *b* mit. Kurze Zeit, nachdem wir *a* in Schwingungen versetzt haben, werden wir eine völlig gleiche Bewegung an b erkennen. Die Übertragung erfolgt durch sogenannte stehende Wellen in dem verbindenden Stahldraht. Die ganze Länge, welche einen Wellenberg und ein Wellental umfaßt, nennt man die Wellenlänge. Wir erkennen sofort die richtigen Bedingungen: Die Länge der frei schwingenden Drähte muß diejenige einer Viertelwellenlänge sein.

Genau das entsprechende finden wir bei dem elektrischen Vorgang. Die elektrischen Schwingungen, welche wir in einem Vertikaldraht *a* erzeugen, indem wir am unteren Ende Funken überspringen lassen, bilden am oberen Ende einen Schwingungsbauch, dessen Frequenz durch die Länge des Drahtes bestimmt ist. Diese Schwingungen teilen sich einem Medium mit, dem Äther, der neben der Luft den Raum erfüllt, sie pflanzen sich darin fort mit Lichtgeschwindigkeit in Form einer Welle, deren Länge genau viermal so groß ist wie die Länge des elektrisch schwingenden Drahtes, wir können sie bis auf einen Zentimeter genau bestimmen.

Treffen diese Wellen nun auf einen zweiten Draht *b* in beliebiger Entfernung, so versetzen sie ihn wiederum in elektrische Schwingungen, die am kräftigsten sein werden, wenn die Eigenschwingung desselben der Wellenfrequenz entspricht, d. h. wenn seine Länge genau eine Viertelwellenlänge und wenn das untere Ende ein Knotenpunkt ist. Beide Bedingungen können wir stets erfüllen, denn über die Länge können wir verfügen und dem unteren Punkt erteilen wir zwangsweise die Spannung Null, machen ihn also zum Knotenpunkt, indem wir ihn mit der Erde verbinden.

Die Funkentelegraphie wäre fertig, wenn wir ein Mittel besäßen, um die in dem Sekundärdraht erzeugten Wechselspannungen zur Wahrnehmung zu bringen.

Einen sichtbaren Funken bei Annäherung eines metallischen Gegenstandes, wie bei dem Versuch vorhin, werden wir kaum erzielen können, denn die Wirkung nimmt ab proportional der Entfernung. Hatten wir hier bei 1 m Entfernung eine Funkenlänge

Digitized by Google

von 4 cm am Auffangedraht, so werden wir bei 100 km Entfernung bestenfalls nur eine Funkenlänge von vier zehntausendstel Millimeter erwarten dürfen. Das reicht selbst für die schärfste Lupe nicht aus, zudem müßte der Beobachter hoch oben auf luftigem Sitz an der Spitze des Drahtes seinen Aufenthalt nehmen.

Zum Nachweis dieser minimalen Spannungen müssen andere Mittel herangezogen werden. Das empfindlichste derselben ist noch immer die Branlysche Röhre, der Fritter.

Es entsteht nun die Frage: an welcher Stelle des Empfangsdrahtes sollen wir den Fritter anschließen? Offenbar dort, wo die hervorgerufenen Wechselspannungen am größten sind. Verbinden wir den Empfangsdraht unten mit der Erde, so bildet sich dort, wie wir gesehen haben, ein Knotenpunkt der elektrischen Spannung aus, die Wirkungen können also nur minimal sein; am besten wäre die Verbindung an der Spitze des Drahtes. Das verbietet sich aber durch die Unzugänglichkeit dieses Punktes.

Früher hat man nun folgenden Weg beschritten: Man hing den Empfangsdraht isoliert auf und befestigte am unteren Ende den Fritter, dessen anderer Pol mit Erde verbunden wurde. Der Fritter hat, wie Messungen gezeigt haben, eine gewisse Kapazität, so daß das untere Ende des Empfangsdrahtes praktisch als ein Knotenpunkt für die vom Draht aufgenommenen elektrischen Schwingungen anzusehen ist. Nennenswerte Spannungen können sich also dort überhaupt nicht ausbilden. Da die Wirkung nun aber lediglich von der an den Fritter herantretenden Spannung abhängt, so ist diese Anordnung prinzipiell falsch. Sie gestattet nicht die Ausnutzung der maximalen Spannungen, die in dem Auffangedraht auftreten. Wenn diese Schaltung trotzdem Resultate ergeben hat, so ist dies nur dem Umstand zu verdanken, daß die Länge des Empfangsdrahtes meist nicht genau einer Viertelwellenlänge entspricht und daß der Sendeapparat außer den Hauptwellen auch noch parasitische Nebenwellen aussendet, welche am unteren Ende des Fangedrahtes die Ausbildung unregelmäßiger geringfügiger Spannungen zulassen. Darauf ist auch zurückzuführen das häufig unzuverlässige, vom Zufall abhängige, gleichsam launische Verhalten, welches den bisherigen Empfänger

Digitized by Google

charakterisierte. Wenn man die Installation nach den üblichen Begriffen sachgemäß ausgeführt hatte, war man dennoch des Erfolges niemals ganz sicher. Es fehlte also das wesentliche Merkmal einer technisch brauchbaren Einrichtung. Der frühere Empfänger gleicht einem menschlichen Ohr, welches statt des reinen Grundtons eines Instrumentes nur zufällige Nebengeräusche und Obertöne wahrnimmt.

Wie muß nun aber die Schaltung ausgeführt werden? Unser mechanisches Beispiel gibt uns deutlich den Fingerzeig. Wir müssen durch direkte Erdung des Fangedrahtes (Fig. 90, XXX) einen sicheren Knotenpunkt ausbilden und die aufgefangenen Wellen durch diesen hindurchleiten. Ein dort angeschlossener Draht von gleicher Länge wie der Empfangsdraht erzeugt am freien Ende einen kräftigen Schwingungsbauch der elektrischen Spannung, in ähnlicher Stärke wie an der freien Spitze des Drahtes. Er bietet aber den Vorteil der Zugänglichkeit. Es ist nicht nötig, den Verlängerungsdraht geradlinig zu führen, wir können ihn auch auf größere Spulen wickeln, wie Sie deren mehrere in diesem Saal erblicken. Hierdurch ist es nun zunächst gelungen, die Präzision und Sicherheit der Zeichengebung in überraschendem Maße zu verstärken: es ist der Kernpunkt der Ihnen heute vorzuführenden Erfindung.

Die Einrichtung gestattet aber noch mehr. Sie ermöglicht, daß vorhandene Leiter, welche, wie Blitzableiter, Fahnenstangen und eiserne Schiffsmaste, an sich schon geerdet sind, ohne weiteres als Fangedrähte für die Funkentelegraphie benutzt werden können. Die Telegramme, welche wir nachher hier aufnehmen werden, sind am Blitzableiter des Schornsteins der elektrischen Zentrale gesammelt und wir haben nichts weiter zu tun gehabt, als von dem Erdungspunkt des Blitzableiters einen Draht von bestimmter Länge in diesen Saal bis an unsere Apparate zu führen. Die wirtschaftliche und technische Bedeutung dieses Umstandes liegt auf der Hand. Für die Benutzung der Funkentelegraphie innerhalb der Städte eröffnet sich hier ein weites Feld.

Diese allgemeinere Verwendung konnte bisher noch niemals ernstlich ins Auge gefaßt werden, weil der bisherigen Funkentelegraphie eine große Unvollkommenheit anhaftete. Es war nicht

Digitized by Google

möglich, zwei Stationen derart aufeinander abzustimmen, daß sie ungestört von anderen Stationen sicher miteinander korrespondieren konnten. Alle elektrischen Wellen, welche den Raum durchzogen, meldeten sich unweigerlich an jedem Empfangsapparat. Die Geheimhaltung einer Korrespondenz war unmöglich. Als unsere, mit den älteren Einrichtungen versehenen Kriegsschiffe sich dem Hafen von Shanghai näherten, erhielten sie meilenweit vor der Rhede ungewollt die Funkentelegramme, welche die dort stationierten englischen Kriegsschiffe miteinander austauschten.

Die Abstimmungsfrage ist jetzt als gelöst zu betrachten. Nach einer Mitteilung von Prof. Fleming in der „Royal Institution" soll auch Marconi eine solche gefunden haben. Die Art der Lösung wünscht er aber vorläufig noch geheimzuhalten.

Die Lösung, welche hier gefunden ist, gründet sich auf die besprochene Schaltung. Den Kern der Sache kann ich in wenigen Worten angeben. Zwei korrespondierende Stationen arbeiten mit vereinbarter Wellenlänge, deren Mannigfaltigkeit in weiten Grenzen möglich ist. Ich werde nachher erläutern, durch welche Mittel wir sie am Sendeapparat erzeugen. Wie können wir nun einen Empfangsapparat einrichten, daß er nur auf eine Wellenart von vereinbarter Länge anspricht? Ein erstes Mittel ergibt sich sofort. Machen wir die Drahtlänge des Auffangedrahtes genau gleich einer Viertelwellenlänge oder einem ungeraden Vielfachen derselben, so wandern alle übrigen Wellen, für welche der Erdungspunkt kein Knotenpunkt ist, unweigerlich in die Erde, sie gelangen gar nicht zum Empfangsapparat. Derselbe ist für sie immun gemacht. Wir können auch sagen, um ein anderes Bild zu gebrauchen: wir sieben die Wellen oder wir filtrieren sie.

Dies Mittel gestattet Störungsfreiheit und Geheimhaltung der Korrespondenz mit einer anderen Station. Die gleichzeitige Korrespondenz mit mehreren Stationen ist noch unmöglich, denn bezüglich der Wellenlänge sind wir an unseren Blitzableiter oder Schiffsmast gebunden, wir können ihn nicht nach Bedarf verlängern oder verkürzen.

Eine glückliche Eigenschaft der elektrischen Wellen hat aber auch die Lösung dieser Aufgabe gestattet. Für Wellen, welche

Digitized by Google

genau viermal so lang sind wie der Auffangedraht, ist der Erdungspunkt ein reiner Knoten, wenn auch minimale Spannungsschwankungen möglich, ja, wie ich vorher zeigte, sogar ersprießlich sind. Ist der Verlängerungsdraht genau so lang wie der Auffangedraht, so wandern alle Wellen von anderer Länge am Knotenpunkte in die Erde. Wir können aber auch diese Wellen zum Weiterwandern in einen Verlängerungsdraht veranlassen, wenn wir die Gesamtlänge des Drahtes, d. h. Auffangedraht plus Verlängerung gleich der halben Wellenlänge machen. Dann ist für diese Wellen der Erdungspunkt zwar kein reiner Knotenpunkt mehr, er läßt aber die Wellen fast ungeschwächt hindurch, und zwar nur diese Wellen, keine anderen. Ein Zahlenbeispiel mag dies erläutern. Wollen wir mit einem Blitzableiter von 40 m Höhe Wellen empfangen, deren Länge nicht $4 \times 40 = 160$ m, sondern vielleicht 200 m beträgt, so haben wir als Gesamtdrahtlänge 100 m zu wählen, d. h. an den Blitzableiter von 40 m noch eine Drahtlänge von 60 m anzuschließen.

Dies einfache Mittel gestattet in ziemlich weitem Umfange, eine Empfangsstation zur Aufnahme verschiedener Wellenlängen einzurichten. Man hat nur für einen geeigneten Vorrat jener großen Drahtspulen Sorge zu tragen und eventuell soviel Empfangsapparate aufzustellen, als die Zahl der Stationen beträgt, mit denen man zu korrespondieren wünscht. Denn die Durchsiebung der Wellen vollzieht sich in so sicherer und exakter Weise, daß wir sogar mit einem und demselben Fangedraht verschiedene Telegramme zu gleicher Zeit aufnehmen können, und zwar Telegramme, welche aus ganz verschiedenen Richtungen und Entfernungen ankommen.

Der Ingenieur ist aber gewohnt, mit einem Sicherheitskoeffizienten zu arbeiten. Auch im vorliegenden Fall haben wir die Aufnahme der Zeichen zu sichern getrachtet durch Vermehrung der Präzision und Steigerung der Wirkung. Dies leistet ein kleiner Apparat von bemerkenswerter Einfachheit, den ich bei meinen Studien eigentlich zufällig fand, dessen Wirkungen mich aber überraschten. Dieser Apparat besteht in seiner einfachsten Gestalt aus einer Drahtspule von bestimmter Form und Wicklungsart,

Digitized by Google

die von der Wellenlänge abhängen. Sie hat die Eigenschaft, die Geschwindigkeit eines elektrischen Impulses herabzusetzen; hieraus resultiert aber eine wesentliche Vermehrung der Spannung, so daß ich den meines Wissens bisher unbekannten Apparat einen Multiplikator nennen möchte. Er ist nicht mit einem Transformator zu verwechseln, denn die sekundäre Wickelung ist ihm fremd.

Durch ein akustisches Analogon kann ich die Wirkung des Multiplikators erläutern. Ich habe hier eine Stimmgabel, welche in Schwingungen versetzt wird, wenn ich mit einem Hammer dagegen schlage. Sie tönt akustisch, wie der Auffangedraht elektrisch ertönt, wenn er von Ätherwellen getroffen wird. Der erzeugte Ton ist aber nur schwach, zudem verklingt er bald, er besitzt eine starke Dämpfung. Das rührt von den Widerständen her, welche die schwingenden Zinken der Stimmgabel zu überwinden haben. Wir besitzen aber ein Mittel, die Schwingungen erheblich zu verstärken und ihre Dauer zu verlängern. Das ist der Resonanzboden; bringe ich die schwingende Stimmgabel damit in Berührung, so wird der Ton sofort lauter und andauernder. Wir übersetzen die akustischen Schwingungen auf ein anderes Medium, welches eine geringere Dämpfung besitzt und die Schwingungsamplituden verstärkt.

Was der Resonanzboden für eine echte Stradivari, das leistet der Multiplikator für die Funkentelegraphie, die Zeichen werden dadurch stärker und reiner.

Schalten wir eine solche abgestimmte Multiplikationsspule zwischen Verlängerung des Auffangedrahtes und Fritter, so erzielen wir größere Spannungen am Fritter, vermehren also die Sicherheit des Ansprechens. Außer der Verstärkung findet durch den Multiplikator aber auch eine nochmalige Reinigung der Wellen statt. Er läßt nämlich nur solche hindurch, für welche er selber abgestimmt worden ist, alle übrigen, die zu groß oder zu klein sind, werden, falls sie der unreine Knotenpunkt an der Erdleitung durchgelassen haben sollte, von der Spule reflektiert. Die Multiplikationsspule versperrt ihnen gleichsam den Zugang zum Fritter.

[Ein angestellter Versuch zeigte, daß die aus einem geraden, von elektrischen Schwingungen erfüllten Draht zu ziehende Funkenlänge von 1 cm, nach Zufügung des Multiplikators auf 10 cm anstieg.

Digitized by Google

Das Drahtende des Multiplikators zeigte dabei an sich schon eine weithin sichtbare Strahlung, die man durch einfache Annäherung der Hand an die Spule sofort zum Verschwinden bringen konnte.]

Es bliebe nun noch zu erörtern, durch welche Mittel elektrische Wellen von bestimmter und vereinbarter Länge an der Sendestation erzeugt werden.

Wir benutzen hierzu eine Modifikation derjenigen Einrichtung, welche ich bereits vor einem Jahre bekanntgegeben habe und welche seitdem bei unserer Marine in Anwendung steht.

Wir gingen dabei von dem Gesichtspunkt aus, daß die Funkentelegraphie eine elektrische Kraftübertragung ist. Abgesehen vom Wirkungsgrad empfiehlt sich diejenige Sendemethode, bei der es gelingt, die größtmögliche elektrische Energie in die oszillierende Form umzusetzen. Hierzu ist nicht nur eine hohe Spannung dienlich, sondern auch eine große Elektrizitätsmenge. Wir erzeugen dieselbe, indem wir statt eines isolierten Drahtes eine geerdete Sendeschleife benutzen (Fig. 91, XXX), welche zur Vergrößerung der Elektrizitätsmenge einen Kondensator K enthält. Diesen verwenden wir in der Form der bekannten Leydener Flaschen. Für den Ladungsvorgang derselben benutzen wir die gesamte durch Erde geschlossene Schleife, für den Entladungsvorgang dagegen, der mit dem Einsetzen des Funkens beginnt und die für die Fernwirkung allein wirksamen schnellen elektrischen Schwingungen hervorruft, verwenden wir nur den ersten Vertikalleiter KC. Der Übertritt dieser Schwingungen in die Ableitung zur Erde wird verhindert durch Einschaltung einer stark verstimmten Spule CD von großer elektrischer Trägheit an der Spitze der Leiter. Wir haben vorhin schon gesehen, daß eine solche Spule wie eine Barriere wirkt, wie eine Mauer, an welcher die schnellen Schwingungen zurückprallen, d. h. reflektiert werden. Die Fernwirkungen können nunmehr lediglich von dem ersten Vertikaldraht ausgehen und werden nicht gestört durch etwaige Gegenwirkungen des zweiten Vertikalleiters DE. Die von einem solchen Sender ausgehenden elektrischen Wellen sind in ihrer Länge vollständig bestimmt durch die Drahtlänge und durch die Größe des Kondensators. Wir können sie aber in jedem beliebigen Maße verändern durch Einschaltung ab-

Digitized by Google

gestimmter Spulen, deren Trägheitswirkung die Frequenz der Schwingungen herabsetzt. Jeder Frequenz entspricht aber eine genau zu berechnende Wellenlänge.

Inwieweit es gelungen ist, durch die geschilderten Einrichtungen eine störungsfreie Mehrfachtelegraphie zu erreichen, mögen die nunmehr anzustellenden Versuche zeigen.

Die hier befindlichen zwei Empfangsapparate sind angeschlossen an einen und denselben Blitzableiter am Schornstein der elektrische Zentrale Schiffbauerdamm. Nach den bisherigen Anschauungen ist dies die denkbar ungünstigste Einrichtung. Es kann auch kein Zweifel darüber bestehen, daß ein großer Teil der ankommenden Schwingungsenergie in den Schornstein wandert und nutzlos zur Erde geführt wird. Der geringe Anteil, welcher auf die Spitze des Blitzableiters fällt, reicht aber vollkommen aus zur sicheren Zeichengebung. Es werden von zwei verschiedenen Sendestationen gleichzeitig Telegramme entsendet werden. Die eine Station ist in meinem Laboratorium in der Technischen Hochschule in Charlottenburg, etwa 4 km entfernt. Der Sendedraht führt dort zum Fenster hinaus nach der Spitze eines Mastes von 16 m Höhe auf dem Dach des Gebäudes. Das Fenster liegt nach Westen, der große Gebäudekomplex der Hochschule steht somit direkt im Wege der Strahlen. Nur von der geringen Drahtlänge, die über dem Dach sich befindet, können elektrische Wellen nach hier entsendet werden. Die andere Station ist in Oberschöneweide, beim Kabelwerk Oberspree, 15 km entfernt. Der Sendedraht hängt dort zwischen zwei Schornsteinen, die elektrischen Wellen haben Berlin zu überfluten in seiner größten Ausdehnung von Südost nach Nordwest; zahllose hohe Schornsteine, Turmspitzen und Häusergiebel stellen sich den Wellen entgegen und brechen ihre Kraft.

Wir wollen nun zuerst Charlottenburg anrufen und mit der dortigen Station allein verkehren, sodann mit Oberschöneweide und schließlich Telegramme von beiden gleichzeitig aufnehmen.

(Der hierauf angestellte Versuch ergab eine völlig fehlerfreie gleichzeitige Korrespondenz mit einer Geschwindigkeit von 72 Buchstaben in der Minute. Fig. 92, XXX ist eine Abbildung von zwei gleichzeitig aufgenommenen Telegrammen.)

Digitized by Google

8.

Die Technik der elektrischen Wellen.

(1901.)

Jede unvermittelte Wechselwirkung zwischen räumlich getrennten lebenden Wesen hat etwas merkwürdig Bestrickendes und die Befreiung von den Schranken des Raumes auch in dieser Beziehung war von jeher ein Lieblingstraum der Menschheit. Einzelnen Naturen, so lautet der Glaube im Volke, soll die Fähigkeit innewohnen, Dinge zu wissen, die weit entfernt sich ereignen, und besonders aus dem Orient werden merkwürdige Vorkommnisse berichtet. Wenn während der englisch-afghanischen Kriege die schnellsten Reiter entsendet wurden, um Truppenkörpern, 50 Meilen entfernt, Befehle zu überbringen, so kamen sie häufig zu spät: die Eingeborenen hatten bereits davon erfahren und Gegenmaßregeln ergriffen. Der Tod des Generals Gordon war in den Straßen von Kairo am selben Tage bekannt, obwohl die Telegraphenlinie zerstört war. Weniger wunderbar, aber nicht minder interessant klingt, was ein Reisender von einem Indianerstamm des Amazonenflusses berichtet. Er fand dort in der Hütte des Häuptlings, zur Hälfte in Erde vergraben, ein Instrument, das, mit einem Hammer berührt, Signale nach einer anderen weit entfernten Hütte übertrug. Eine verbindende Erzader oder ein unterirdischer Wasserlauf könnte uns dieses Phänomen erklären.

Ratloser standen aber die meisten den ersten Versuchen Marconis gegenüber, obwohl die Telegraphie ohne verbindenden Draht an sich nicht neu war. Tesla, Edison und Preece hatten bereits vor Jahren Einrichtungen hierfür ersonnen, Edison sogar das Problem gelöst, von einem fahrenden Eisenbahnzuge aus zu telegraphieren. Auch die von Marconi zuerst benutzte fern-

Digitized by Google

wirkende Kraft des Funkens war an sich durchaus nicht neu, ja schon vor mehr als 100 Jahren hatte sie sich der Forschung gleichsam aufgedrängt, sie war nur nicht beachtet und in ihrer wahren Bedeutung erkannt worden. Der Beobachtung einer Frau verdanken wir nach den Überlieferungen die erste Wahrnehmung des Phänomens. Die Gattin Galvanis half ihrem Manne mit geschickten Händen die feinen Nerven eines Froschschenkels für physiologische Untersuchungen präparieren. Er selbst arbeitete in einiger Entfernung davon an einer Elektrisiermaschine und zog Funken aus derselben. Da beobachtete sie mit Staunen jedesmal, wenn dort an entfernter Stelle ein Funke übersprang und sie selbst zugleich mit dem Messer den Nerv des Frosches berührte, eine Zuckung des Schenkels. Zwischen dem funkenerzeugenden Gatten und ihr selbst bestand also ein geheimnisvoller elektrischer Zusammenhang, der seine Wirkungen durch den Raum übertrug — eine drahtlose Telegraphie.

Die damalige Beobachtung blieb fruchtlos; der eigensinnige Gelehrte wollte sie durchaus auf geheimnisvolle animalische Kräfte zurückführen. Es wurde eine berühmte wissenschaftliche Streitfrage daraus, welche bald hinüberspielte auf ein anderes Gebiet, dasjenige der Berührungselektrizität, und ein größerer als Galvani: Alessandro Volta, beendete den Kampf durch die glänzendste Entdeckung des naturwissenschaftlichen Zeitalters, den elektrischen Gleichstrom. Nach fast 100 Jahren kehrt die Wissenschaft zu jenem ersten Phänomen zurück, ein deutscher Forscher: Heinrich Hertz, deutet uns den Zusammenhang durch das Spiel elektrischer Wellen, und ein jugendlicher Landsmann Galvanis: Guglielmo Marconi, zieht in wenigen Jahren rastloser Arbeit daraus die wichtigsten technischen Folgen, indem er Telegramme durch die Luft entsendet auf 100 km und mehr.

Die Sensation, welche diese Versuche hervorriefen, ließ sich in dem Kursrückgange der englischen Telegraphengesellschaften ziffernmäßig erkennen. Doch die Gewöhnung des Menschen an die Verwertung früher unbekannter Naturkräfte ist eine erstaunlich schnelle. Was uns vor wenig Jahren fast wie ein Wunder berührte, erscheint uns heute als selbstverständlich und naheliegend. Ich

Digitized by Google

spreche mit Absicht von „Gewöhnung", denn von eigentlichem Verstehen ist auf dem ganzen Gebiet der Elektrizität leider noch wenig die Rede. Je schneller wir eine neue Tatsache in den Kreis unserer gewohnten Vorstellungen einordnen können, desto leichter vollzieht sich der geistige Assimilierungsvorgang, den wir „Verstehen" nennen. Bei der Funkentelegraphie hatten diejenigen, welche mit ihren physikalischen Vorstellungen an die Tatsachen anknüpfen mußten, die sie vor dreißig und mehr Jahren auf der Schulbank erfahren, allerdings mit etwas größeren Schwierigkeiten zu kämpfen. Sie hatten sich zunächst in der für sie neuen Welt der elektrischen Wellen zurechtzufinden. Denn es schien anfangs unmöglich, die Fernwirkung des Funkens anders als durch den Begriff einer wellenartigen elektrischen Strahlung, wie ihn Maxwell eingeführt hatte, zu erklären. Und doch ist dieser Begriff nur eine Hypothese, wie so viele andere Grundvorstellungen der Physik. Heute, wo wir die Gesetze der Funkentelegraphie besser übersehen, können wir ihre Erklärung ganz gut auch auf ältere Vorstellungen zurückführen. Es sind die wohlbekannten Erscheinungen der elektrischen Induktion, die ich dazu heranziehen will.

Wenn ein stromführender Leiter auf längerer Strecke einem zweiten an sich stromlosen Leiter parallel geführt ist, so kann in diesem unter gewissen Umständen ein Strom hervorgerufen werden, ohne daß direkte elektrische Kräfte dabei mitwirken. Wir brauchen nur den Strom in dem ersten Leiter, den wir „Primärstrom" nennen wollen, in seiner Stärke zu ändern, sofort entsteht in dem zweiten Leiter ein allerdings schnell vorübergehender „Sekundärstrom". Und zwar entspricht jeder Zunahme des Primärstromes ein entgegengesetzt gerichteter, jeder Abnahme desselben ein gleichgerichteter Sekundärstrom. Da beide Stromleiter metallisch völlig getrennt sind, so kann kein Zweifel darüber bestehen, daß die elektrische Erscheinung von dem Primärdraht durch die Luft auf den Sekundärdraht übertragen wird. Besonders auffallend und regelmäßig wird das Phänomen bei einem periodisch unterbrochenen oder wechselnden Primärstrom. Dann wird der Sekundärdraht zum Träger eines andauernden Wechselstromes,

Digitized by Google

dessen Periodenzahl oder Frequenz mit der des Primärstromes übereinstimmt. Von dem Primärstrom gehen die Wirkungen aus, der Sekundärdraht ist gewissermaßen nur ein elektrischer Fühler, der uns von dem Vorgang in dem Primärdraht Kenntnis gibt.

Der elektrische Gleichstrom hat diese merkwürdige Eigenschaft nicht. Mag er Tausende von Pferdestärken durch einen Draht dahintragen, kein sichtbar oder fühlbar nach außen dringendes Zeichen verrät uns die Herkulesarbeit der elektrischen Kräfte. Es ist ähnlich wie mit dem Wasser, das durch eine Rohrleitung dahinbraust — kein Merkmal an der Außenwand des Rohres läßt auf den Vorgang im Innern schließen. Und doch können wir mit dem Druckwasser gewaltige Kräfte übertragen. Wie ändert sich aber das Bild, wenn der Wasserstrom plötzlich gehemmt wird, etwa durch Schließen eines Ventiles! Ein heftiger Stoß erschüttert das Rohr, nicht selten so stark, daß die Wandung zerreißt. Nehmen wir an, daß das Wasser sogar seine Bewegungsrichtung ändert, viele Male in einer Sekunde, so würden die Erschütterungen des Rohres in gesetzmäßiger Wiederholung sich der umgebenden Luft mitteilen und Schallwellen von bestimmter Tonhöhe in unser Ohr senden. Die Erschütterungen unseres Trommelfelles geben uns jetzt Kunde von dem inneren Vorgang im Wasserrohr. Wir wissen, sie werden übertragen durch die gesetzmäßigen Schwingungen der in Mitleidenschaft gezogenen Luft.

Ganz ähnlich können wir uns den Vorgang bei der Übertragung einer elektrischen Erschütterung denken. Nur die Luft ist entbehrlich, denn die Übertragung erfolgt ebensogut auch durch den luftleeren Raum. Nun ist aber die heutige mechanische Naturauffassung ein geschworener Feind aller Erklärungen, welche die Möglichkeit einer Übertragung von Kräften ohne die Mitwirkung stofflicher Materie zur Voraussetzung haben; man hat darum einen Stoff erfunden, den Weltäther, welcher, den menschlichen Sinnen zwar nicht wahrnehmbar, dennoch elektrische Impulse ebenso weiterzutragen imstande sein soll, wie der Wasserspiegel die Wellenringe eines Steinwurfes, oder wie die Luft, wenn sie das leise Erzittern der Violinsaite durch rhythmische Schwingungen auf unser Ohr überträgt.

Digitized by Google

Wir dürfen aber in diesen Erklärungen nichts weiter suchen als ein Mittel, um die verschleierten Äußerungen der Natur dem beschränkten Fassungsvermögen des menschlichen Geistes greifbarer zu gestalten und ihre Einschachtelung in die verschiedenen Fächer und Kasten unseres Gehirns zu erleichtern. Wir gleichen hierin den Kindern, die bunte Muscheln am Strande des Ozeans sammeln und nach Größe und Farbe ordnen. Ein herrliches Geschenk hat uns aber die Allmacht verliehen: das ist die Fähigkeit die Gesetze zu erkennen, nach denen das Walten der Natur sich ordnet, und diese Gesetze wiederum zum Wohle der Menschheit schöpferisch zu verwerten. In dieser Tätigkeit reichen sich Forscher und Ingenieur zu ersprießlichem Bunde die Hände.

Betrachten wir von diesem Gesichtspunkt aus die neue Naturerscheinung, welche an der Wende des Jahrhunderts der Menschheit gleichsam als eine reife Frucht zuteil geworden ist. Die Ermittlung der Gesetze der elektrischen Induktion verdanken wir dem größten naturwissenschaftlichen Forscher des vergangenen Jahrhunderts: Michael Faraday. Er und seine Nachfolger zeigten uns, daß die Kräfte, welche ein elektrischer Strom in einem von diesem völlig getrennten Drahte hervorruft, am stärksten sind, wenn die Drähte eine parallele Lage haben, wenn sie tunlichst lang sind, wenn der Mittelwert des Primärstromes und die Schnelligkeit der Änderung möglichst groß sind. Unter sonst gleichen Verhältnissen nimmt die übertragene Wirkung mit der Entfernung ab, aber nicht wie bei den von einem elektrischen Zentrum ausstrahlenden Kräften mit dem Quadrat, sondern mit der einfachen Entfernung. Bezeichnet l die Länge der parallelen Leitungen, a ihren Abstand, J die mittlere primäre Stromstärke und T die Zeitdauer der periodischen Schwankungen, also $\frac{1}{T}$ die Anzahl derselben in einer Sekunde oder ihre Frequenz, so ist die elektrische Erregung in dem Sekundärdraht proportional dem Ausdruck $\frac{l^2 J}{a T}$, die Übertragungsweite also proportional $\frac{l^2 J}{T}$. Ein einfaches Experiment wird uns von der Richtigkeit dieses Gesetzes überzeugen. Hier sind (Fig. 93, XXXI) in der Länge des Saales zwei parallele Leitungen übereinander ausgespannt; die obere ist Teil eines Kreises, in welchem ich mittels einer Batterie B und eines regulierbaren

Digitized by Google

Widerstandes *W* durch einen rotierenden Unterbrecher *T* intermittierende, also veränderliche Ströme *J* erzeuge. Der zweite, darunter befindliche Draht ist gleichfalls durch eine Leitung geschlossen und enthält zum Nachweis der darin erzeugten Sekundärströme ein Telephon *E*; dieser Kreis ist von dem ersten völlig isoliert. Lasse ich nun den Unterbrecher spielen, so liefert das Telephon weithin hörbare Töne. Eine schnellere Unterbrechung erzeugt einen lauteren und höheren Ton; eine Vergrößerung der Entfernung der parallelen Leitungen verringert die Tonstärke. Kürze ich die parallel geführten Drähte, so geht der Ton gleichfalls merklich zurück. Eine Verstärkung des Stromes durch Ausschaltung des Widerstandes *W* läßt ihn von neuem anschwellen.

Das sind die einfachen Grundgesetze, welche auch die heutige drahtlose Telegraphie befolgt. Man könnte die Frage aufwerfen, warum die Nutzanwendung auf große Entfernungen, die das Überraschende der neuen Erfindung ausmacht, nicht schon zu Faradays Zeiten versucht wurde. Der Grund liegt heute klar zutage. Daß bei Verlängerung der Paralleldrähte die Übertragungsweite zunimmt, wurde zwar erkannt, zunächst indessen nur als Störung empfunden in langen Telephonleitungen, welche vorhandenen Telegraphenleitungen auf weite Strecken hin parallel liefen. Sir William Preece verdanken wir ein näheres Studium dieser Erscheinung. Zwischen Durham und Darlington liefen auf 26 km zwei parallele Telegraphenleitungen, 16 km voneinander entfernt; Preece stellte fest, daß mit Hilfe eines Telephons in der einen Leitung Morse-Telegramme, die auf der andern Leitung gesandt wurden, gehört werden konnten. Er gründete darauf ein System der drahtlosen Telegraphie und richtete auf verschiedenen Inseln in der Nähe des Festlandes mit Hilfe von parallelen Leitungen Telegraphenstationen ein, die zum Teil noch heute im Betriebe sind. Die kilometerlangen Drahtführungen, welche dieses System benötigt, beschränken indessen seine Verwendbarkeit auf einzelne besonders geeignete Fälle und genügen nur für geringe Entfernungen. Für telegraphischen Verkehr von Schiff zu Schiff oder von Schiff zu Land ist das System ungeeignet.

Abgesehen von der Stromstärke, die bis jetzt nur einer geringen

Digitized by Google

Steigerung fähig ist, bleibt sonach, wie unsere Formel zeigt, die Frequenz der Stromschwankungen $= \frac{1}{T}$ der einzige Faktor, von dessen Zunahme sich ein nennenswerter Erfolg hoffen läßt. Daß dies nun in einem alle Erwartungen weit übersteigendem Maße möglich geworden ist, verdanken wir den glanzvollen Entdeckungen der letzten Jahrzehnte des vorigen Jahrhunderts, die mit dem Namen Heinrich Hertz ruhmvoll verbunden sind. Um den gewaltigen Unterschied, um den es sich handelt, gleich vorweg zu betonen, will ich erwähnen, daß die Zahl der Unterbrechungen oder Stromschwankungen, welche wir mit den früher allein bekannten rein mechanischen Mitteln erzeugen konnten, wenige hundert in der Sekunde nicht überschreitet, daß die neuen Hilfsmittel dagegen uns Wechselströme liefern, deren Frequenz sich nach Millionen in der Sekunde beziffert. Die Übertragbarkeit von elektrischen Impulsen wird also dadurch auf 10000 mal größere Entfernungen gesteigert.

Mit welch kunstvollen Einrichtungen muß die Maschine versehen sein, welche die Wechselzahl der Ströme in so erstaunlicher Weise vermehrt, daß schon ihr bloßes Zählen die Fähigkeit unserer Sinne weit übersteigt!

Der elektrische Funke ist nach der üblichen Ausdrucksweise der plötzliche Ausgleich entgegengesetzt gespannter Elektrizitäten. Dieser Ausgleich vollzieht sich zwar in der Form eines elektrischen Stromes, ist aber durchaus nicht etwa als ein einmaliger Austausch zu betrachten. Vergleichen wir die übertretenden Elektrizitätsmengen mit einer ungeheuren Anzahl elastischer Bälle, die hinübergeworfen werden und wieder zurückprallen und dieses Spiel in unermüdlicher Folge wiederholen, so kommen wir zu einem treffenden Bilde. Unfaßbar unseren Sinnen und durch mechanische Analogien nicht zu erläutern bleibt aber die ungeheure Geschwindigkeit, mit der dieser pendelnde Ausgleich sich vollzieht. Die Geschwindigkeit einer Kanonenkugel wäre ein kindlicher Vergleich mit dem oszillierenden Sturm der elektrischen Partikel, die in einer Sekunde viele millionenmal in dem Funken ricochettieren.

Die schnell oszillierenden Funkenströme haben nun aber weiter eine merkwürdige Eigenschaft, die wir noch vor 30 Jahren

Digitized by Google

als ganz unmöglich und allen Grundlehren der Elektrizität widersprechend bestritten hätten. Wir haben damals gelernt, daß elektrische Ströme nur in geschlossenen Leitungen bestehen können. Für Gleichströme gilt dieses Gesetz auch noch heute; die oszillierenden Funkenströme haben sich jedoch gänzlich davon freigemacht; sie können auch in ungeschlossenen Leitern bestehen, ja sie entwickeln in diesen erst recht die Fähigkeit, weittragende Induktionswirkungen auszuüben. Alles Philosophieren würde uns diese Möglichkeit niemals erschlossen haben; ein einfacher Versuch führt es uns aber unmittelbar vor Augen. Mit Hilfe des bekannten Ruhmkorffschen Induktoriums erzeuge ich zwischen zwei kleinen Metallkugeln ein dauerndes Funkenspiel — eine Reibungselektrisiermaschine oder eine Influenzmaschine könnte ebensogut dazu dienen. Mit beiden Kugeln habe ich nach rechts und links gradlinig ausgespannte Drähte verbunden, die isoliert an den Wänden des Saales befestigt sind (Fig. 94, XXXI). Eingeschaltet in diese Drähte sind ein Paar gewöhnliche Glühlampen mit linearem Faden. Das Aufleuchten derselben zeigt uns unwiderleglich, daß sie von einem Strome durchflossen werden. Von den sich entladenden Kugeln stürzen sich die elektrischen Ströme gleichsam nach beiden Seiten in die offenen Leitungen, werden am Ende reflektiert und wiederholen dieses Spiel einige millionenmal in der Sekunde.

Sie haben bemerkt, daß die beiden Glühlampen in der Nähe der Funkenstrecke stärker leuchten als die anderen. Schalteten wir Meßinstrumente an verschiedenen Stellen in die Leitungen, so würden wir die Ströme sogar messen können. Eine auffallende Tatsache würde sich dabei enthüllen: die Stärke der elektrischen Strömung ist nicht an allen Stellen die gleiche. Hier in der Mitte des Saales, in der Nähe der Funkenstrecke, würden die Amperemesser wesentlich größere Ausschläge zeigen als dort in der Nähe der freien Drahtenden. Tragen wir die größten Stromstärken als positive und negative Ordinaten an den verschiedenen Stellen der Drähte auf, so erhalten wir den gesetzmäßig gerundeten Bauch einer Sinuslinie *A B C* (Fig. 95, XXXI). An den Drahtenden, den Reflexstellen, sinkt die Strömung auf Null. In der Funkenstrecke, wo

Digitized by Google

die hocherhitzten Gase und Metalldämpfe die beiden Drähte leitend verbinden, erreicht die pendelnde Strömung ihren größten Wert.

Noch an einer anderen Eigenschaft können wir die Eigentümlichkeit der Erscheinung erkennen. Jedes Teilchen der Drähte nimmt eine elektrische Spannung an, welche aber eine Wechselspannung ist und ähnlich wie der Strom an jeder Stelle millionenmal in einer Sekunde zwischen einem positiven und negativen Größtwert schwankt. Diese Wechselspannungen befolgen nun das entgegengesetzte Verhalten wie die Ströme: sie erreichen ihre höchsten Schwankungen an den freien Enden *D D'* und *E E'* (Fig. 95, XXXI) und zeigen in der Nähe der Funkenstrecke nur geringe Werte.

Der experimentelle Nachweis dieser Erscheinungen ist nicht so einfach wie bei den Strömen. Könnten wir diesen Saal völlig verdunkeln, so würden wir allerdings wahrnehmen, daß die Enden der Drähte leuchten. Das rührt nicht von einem Stromdurchgang wie bei den Glühlampen, sondern von elektrischen Ausstrahlungen her, die lediglich von den Spannungen abhängen. Der sichere Nachweis läßt sich durch die photographische Trockenplatte führen. Es ist schon längere Zeit bekannt, daß mit elektrischer Spannung versehene Körper bei Berührung auf die Trockenplatte einwirken. Beim Entwickeln derselben erhält man strahlenartige Figuren mit feinen und scharfen Verästelungen.

Die kurze Bestrahlung eines lichtempfindlichen Bandes, das ich mit dem Draht in seiner ganzen Länge zur Berührung brachte, zeigte deutlich eine Zunahme der elektrischen Spannung nach dem freien Ende hin, und weitere eingehende Versuche ergaben sogar ein einwandfreies Sinusgesetz für diese Zunahme (Fig. 96, XXXI).

Nach dem, was ich vorhin über die Fernwirkung durch Induktion pulsierender Ströme ausgeführt habe, kann es nun nicht wundernehmen, daß die hohe Frequenz der pulsierenden Funkenströme in offenen Leitern besonders kräftige Fernwirkungen liefert. Und in der Tat läßt sich der Nachweis mit Leichtigkeit führen. Ich habe hier parallel zu den von dem Funkenstrom gespeisten Drähten einen zweiten völlig isolierten Draht durch die

Digitized by Google

ganze Länge des Saales gezogen. Sobald wir die Funkenstrecke des Primärdrahtes in Tätigkeit setzen, wird der Sekundärdraht von ganz ähnlich verlaufenden Induktionsströmen durchzuckt. Sie sind zwar so schwach, daß ich sie mit den rohen und einfachen Hilfsmitteln, die mir hier zur Verfügung stehen, nicht dem ganzen Auditorium zeigen kann. Wohl aber kann ich die ebenso erzeugten entsprechenden Wechselspannungen an diesem Draht zur Wahrnehmung bringen. Ich wähle dazu die bekannten luftentleerten Geißlerschen Röhren; setze ich sie einer Wechselspannung aus, so leuchten sie auf. Hier am Ende des Drahtes geben sie ihr volles Licht, in der Mitte desselben leuchten sie nicht. Der Verlauf der Spannungen an diesem Sekundärdraht ist nun, wie Untersuchungen gezeigt haben, genau dem Schwingungszustand des Primärdrahtes entsprechend. Sogar das Gesetz der Sinuslinie wird diesen Spannungen aufgeprägt. Ebenso läßt sich zeigen, daß die elektrische Strömung in der Mitte des Drahtes ihren Größtwert erreicht und nach den Enden hin abnimmt (vgl. Fig. 97b, XXXII).

Besonders merkwürdig ist aber das Folgende: Schneide ich den Sekundärdraht in der Mitte durch, so bildet sich in jeder Hälfte des Drahtes eine eigene Schwingung aus, die durch die Länge des Drahtes bestimmt ist (Fig. 97c, XXXII). Wem fällt hier nicht der Vergleich mit einer Klaviersaite ein, die in einem tiefen Grundton schwingt und zwei halb so lange Saiten durch Resonanz zum Mitschwingen in dem eine Oktave höher liegenden Oberton veranlaßt? In der Tat, die Analogie mit dem Tönen schwingender Saiten ist eine völlige und wird uns bei den weiteren Betrachtungen wertvolle Fingerzeige für das elektrische Mittönen von Drähten bieten können.

Die einander zugekehrten Enden der halblangen Drähte nehmen Spannungen an, deren Polaritäten entgegengesetzt sind. Nähern wir die Enden, so nehmen wir deshalb ein Funkensprühen wahr. Es ist, als ob die Stromwelle, die in den Drähten induziert ist, hier an der Unterbrechungsstelle zwischen den Drähten hinüberspritzt, ähnlich wie die Wasserwelle über ein Hindernis in Millionen von glitzernden Tropfen. Sie können von Ihren Plätzen aus diese Funken nicht sehen; ich will aber eine Wirkung damit hervorrufen,

Digitized by Google

die allen sichtbar wird. Ich schalte zwischen die freien Enden der Drähte die Kohlenstäbe einer Bogenlampe, welche an die hier vorhandene elektrische Leitung angeschlossen ist. So lange die Stäbe sich nicht berühren, kann der Gleichstrom aus der Leitung von Kohle zu Kohle nicht übertreten. Lasse ich nun aber die primäre Funkenstrecke spielen, so spritzen an den Kohlen feine Funken über, bilden eine Brücke für den Gleichstrom und die Lampe leuchtet auf.

Wie sollen wir nun die eigentümliche Wirkung erklären, deren Zeugen wir soeben gewesen sind? Es sind dieselben Kräfte, welche den Froschschenkel zum Zucken brachten; sie breiten sich aus durch den Raum, sie durchdringen unsere Körper, durchbrechen die dicken Steinwände dieses Hauses und pflanzen sich fort durch das grenzenlose Weltall. Man hat die Geschwindigkeit der Ausbreitung gemessen; sie stimmt überein mit der Lichtgeschwindigkeit von 300000 km/sk. Befände sich etwa auf dem Mars zu dieser Stunde ein Berufsgenosse, vertieft in das Studium der gleichen Erscheinung, und ständen, der vorgeschrittenen Kultur der Marsbewohner entsprechend, unendlich viel feinere Hilfsmittel zum Erkennen dieser Kräfte zu seiner Verfügung, genau nach 3 Minuten würde das Leuchten einer Röhre, das Licht einer Bogenlampe oder das Zucken einer höher organisierten frischen Tierleiche ihm Kunde geben von unserem Tun. Sie sehen, bis auf diese kleinen Voraussetzungen ist Tesla durchaus im Recht, wenn er mit dichterischer Phantasie von einer Marstelegraphie der Zukunft träumt.

Es ist aber eigentlich auch nicht viel mehr als dichterische Phantasie, wenn wir uns nach der üblichen Anschauung den Weltraum als ein unendliches Äthermeer vorstellen, dessen Wellenschlag die elektrischen Kräfte weiterleitet. Es ist bekannt, daß die Fortpflanzung des Lichtes in ähnlicher Weise erklärt wird, und daß man in dem Licht selbst eine elektrische Erscheinung vermutet, deren Wellenfrequenz noch millionenmal größer ist. Ich muß es mir versagen auf diesen interessanten Zusammenhang hier näher einzugehen, möchte aber daran erinnern, wie schnell die Vorstellung des Lichtes als Wellenbewegung in unsere Denk- und Ausdrucksweise übergegangen ist. Wir reden von den „Fluten des

Digitized by Google

Lichts", Goethe läßt Faust „die irdische Brust im Morgenrot baden" und schildert das All als ein ewiges Meer, ein wechselndes Weben". Die Ätherstürme der Sonne tragen ihre Wellenschläge zu uns, sie brechen sich an der Netzhaut unseres Auges und verschaffen uns die Empfindung des Lichtes. Schallwellen überträgt der Äther nicht — zu unserem Glück, denn mit den Strahlen des Lichtes würde uns sonst auch der ungeheure Spektakel auf der Sonne zugetragen. Die „Sphärenmusik" ist nur eine dichterische Lizenz.

Kehren wir nach dieser kleinen Abschweifung wieder zu unserem elektrisch schwingenden Draht zurück. Bisher haben wir mit den Kugeln oder sogenannten Polen der Funkenstrecke nach beiden Seiten hin Drähte verbunden. Eine neue wertvolle Eigenschaft derselben erkennen wir, wenn wir den einen Pol mit der Erde verbinden und den Draht vom andern Pol senkrecht in die Höhe führen (Fig. 98, XXXII). Die Verteilung der elektrischen Spannung an diesem Draht verändert sich dadurch nicht, ebensowenig die Ströme. Es ist genau so, als nähme in der Erde ein Spiegelbild des Vertikaldrahtes die auf- und niederzuckenden Ströme auf. Stellen wir ebenso die eine Hälfte des Sekundärdrahtes senkrecht und legen das untere Ende an Erde, so vollzieht sich die Induktion in unveränderter Weise, auch hier können wir die Erde durch ein Spiegelbild des Vertikaldrahtes ersetzt denken (Fig. 98, XXXII). Die Tragweite der Wirkung, die Entfernung, auf welche wir die elektrischen Impulse senden können, nimmt dabei zu. Es scheint so, als ob in der Erde eine zweite Bahn für die Weiterleitung der elektrischen Stöße oder Schwingungen sich darböte; Tesla hat sogar eine Telegraphie, lediglich durch die Erde, darauf gegründet. Daß dies in gleicher Weise wie bei den Drähten auf Induktion durch Ströme zurückgeführt werden könne, muß bezweifelt werden. Ich möchte vielmehr vermuten, daß es sich um Spannungserschütterungen handelt. Zweifellos hat die Erde eine bestimmte elektrische Spannung, deren wahre Größe uns unbekannt ist; da sie sich als ein unendlich großer Behälter darstellt, so ist ihre mittlere Gesamtspannung sicherlich als eine nur wenig veränderliche Größe aufzufassen, etwa wie die mittlere Tiefe der Weltmeere. Man nimmt sie deshalb auch als willkürlichen Nullpunkt der

Digitized by Google

Spannung an und zählt elektrische Spannungen, die größer sind als positiv, solche, die kleiner sind, als negativ.

Nun ist uns bekannt, daß lokale Erschütterungen der Erdspannung sich auf weite Entfernungen bemerkbar machen, wie der Sturm in der Mitte des Ozeans nach einiger Zeit seine Wellen bis an die Küste sendet. Die große Wechselstromzentrale in Deptford bei London erhielt eines Tages Erdschluß, und die dadurch hervorgerufenen Störungen des Erdpotentials machten sich in Paris an den feinen Meßinstrumenten des Observatoriums, die mit der Erde in Verbindung standen, deutlich bemerkbar.

Die wesentliche Steigerung der Induktionserscheinung durch Erdverbindung soll uns wieder ein Experiment zeigen. Wir legen den einen Pol des Induktoriums an Erde und verbinden mit dem andern einen mit feinen Kupferdrähten besponnenen Bindfaden. Eine zweite Schnur aus gleichem Material spannen wir 1 m entfernt parallel dazu aus und legen das eine Ende derselben gleichfalls an Erde. Wenn wir nun den Saal verdunkeln, können Sie deutlich die mehrere Zentimeter langen Funken sehen, die ich aus dem Sekundärdraht ziehe. Jetzt werden Sie auch ein Leuchten beider Drähte bemerken. Hätte ich die Drähte nicht parallel, sondern senkrecht zueinander angeordnet, würden Sie ein solches Leuchten nicht wahrnehmen.

Die durch Erdverbindung eines Poles der Funkenstrecke am ausgespannten Draht des andern Poles hervorgerufene Erscheinung ist dadurch gekennzeichnet, daß die elektrischen Wechselspannungen von der Funkenstrecke aus nach dem freien Ende des Drahtes hin stetig zunehmen, während die hin- und herzuckenden Wechselströme in der Nähe der Funkenstrecke ihre größten Werte erreichen und nach dem freien Ende des Drahtes hin abnehmen. Die Zunahme des Leuchtens nach dem freien Ende des Drahtes hin haben Sie bei dem Experiment nicht wahrnehmen können. Dies rührt daher, daß ich durch einen Kunstgriff, dessen Erörterung mich hier zu weit führen würde, die Drähte künstlich verlängert habe, um das Phänomen zu verstärken. Was Sie gesehen haben, waren tatsächlich nur die äußersten Enden wesentlich längerer Drähte. Die Stellen der größten Schwankung nennt man in der Theorie der schwingenden Saiten die Schwingungsbäuche,

Digitized by Google

die Orte der Ruhe, an denen eine Schwingung nicht bemerkbar ist, dagegen Schwingungsknoten. Übertragen wir diese Bezeichnung auf den elektrisch schwingenden Draht, so müssen wir sagen: die elektrischen Wechselspannungen besitzen an der Spitze einen Bauch, an der Funkenstrecke einen Knotenpunkt, die Wechselströme dagegen haben an der Funkenstrecke den Bauch und an der Spitze den Knotenpunkt.

Dies führt uns dazu, ein ganz ähnliches mechanisches Beispiel zu betrachten. Ich habe hier ein federndes Stück Bandeisen von 1 m Länge mit einem Ende in einem Schraubstock festgespannt. Schlage ich an irgendeiner Stelle mit dem Hammer dagegen, so versetze ich das Eisen in Schwingungen von gesetzmäßiger Frequenz, die ich aus den Abmessungen und der Elastizitätskonstanten des Eisens berechnen kann. Der Schwingungsfrequenz, die sich der Luft mitteilt, entspricht die Tonhöhe, die wir hören. Sie bleibt unverändert, an welcher Stelle ich das Eisen auch berühre. Wir erkennen also eine dem Eisen eigentümliche Schwingungsfrequenz, seine Eigenfrequenz, die, wie ein Versuch sofort ergibt, nur von der Länge des schwingenden Bandes abhängt. Die seitlichen Ausbiegungen, welche der Stab erfährt, seine Amplituden, sind am freien Ende am größten, an der Befestigungsstelle am geringsten. Umgekehrt sind aber die Biegungsspannungen, die Beanspruchungen des Eisens, an der Spitze am kleinsten, hier unten dagegen am größten. Wir erkennen also an der Spitze einen Bauch für die Bewegungsamplituden, am Schraubstock einen Bauch für die Biegungsspannungen, und umgekehrt ihre Knotenpunkte. Es bestehen also ganz analoge Verhältnisse wie bei dem elektrisch schwingenden Draht.

Nun gestattet uns aber das mechanische Beispiel, die Übertragung der Schwingung auf einen zweiten oder Sekundärdraht durch eine Wellenbewegung zu veranschaulichen. Ich spanne einen Winkel aus Bandeisen mit gleich langen Schenkeln am Winkelpunkt fest und erschüttere durch einen Schlag mit dem Hammer den einen dieser Schenkel. Sie sehen, daß auch der zweite Schenkel sofort in Schwingung versetzt wird; die Schwingung hat sich von dem ersten Schenkel durch den Knotenpunkt auf den zweiten

Digitized by Google

übertragen. Dies geschieht aber nur dann, wenn die Schenkel gleich lang sind, wenn also die Eigenfrequenz des zweiten Schenkels mit der durch den Knotenpunkt auf ihn übertragenen völlig übereinstimmt. Wiederhole ich das Experiment mit ungleichen Schenkeln, so bleibt die Bewegungsübertragung aus. Zum guten Gelingen des Experimentes ist aber erforderlich, daß der Knotenpunkt eine geringe Erschütterung erfährt; würde er völlig festgehalten sein, könnte die Bewegungsübertragung nur durch Molekularkräfte im Eisen erfolgen: die Erschütterung würde nicht sichtbar werden, vorhanden ist sie aber trotzdem.

Die weitere Betrachtung geschieht am besten an Hand einer Skizze (Fig. 99, XXXII). *A B F G* sei ein elastischer Stab von der sechsfachen Länge des freien Schenkels *A B*. Jede Erschütterung desselben pflanzt sich durch den Knotenpunkt *B* nach *C* fort und erzeugt dort einen Schwingungsbauch von gleicher Frequenz. Dieser überträgt sich durch den freien Knotenpunkt *D* nach *E* und von hier durch den Knotenpunkt *F* auf den Sekundärstab *F G*, welcher wie der Primärdraht *A B* wieder senkrecht angeordnet sein mag. Jede Erschütterung des Primärdrahtes bewirkt eine synchrone Schwingung des Sekundärdrahtes, die Übertragung der Bewegung erfolgt durch den verbindenden Draht *B F*, der die Schwingungsbewegung einer stehenden Welle annimmt. Wählt man Bandeisen, so kann man die Bäuche *C* und *E*, sowie den Knotenpunkt *D* deutlich erkennen, wenn man diese Stellen mit trockenem Sand bestreut. Bei *C* und *E* gerät der Sand in lebhaftes Hüpfen, bei *D* bleibt er in Ruhe. Bekanntlich nennt man die Strecke, welche einen Wellenberg und ein Wellental umfaßt, die Länge der Welle, und wir erkennen das folgende einfache Gesetz: Die Bewegungsübertragung von *A* nach *G* erfolgt durch eine stehende Welle, deren Länge gleich dem Vierfachen der schwingenden Vertikaldrähte ist.

Dieses einfache Gesetz können wir nun sofort auf unsere elektrisch schwingenden Drähte übertragen (Fig. 100, XXXII). Stoße ich einen geerdeten Draht *A B* elektrisch an, indem ich an beliebiger Stelle, etwa bei *C*, einen Funken auf ihn überschlagen lasse, so gerät er in elektrische Schwingungen, deren Frequenz lediglich von

Digitized by Google

der Länge des Drahtes abhängt. An der Spitze des Drahtes bildet sich ein Bauch für die elektrischen Wechselspannungen aus, an der Erdungsstelle, bei *A*, ein Bauch für die Ströme. Befindet sich in einiger Entfernung davon ein zweiter paralleler Draht von gleicher Länge *DE*, so wird er durch Induktion gleichfalls in elektrische Schwingungen versetzt. Diese Schwingungen haben aber die doppelte Frequenz des Primärdrahtes, wenn der Draht an beiden Enden isoliert ist; in der Mitte entsteht ein Knotenpunkt für die Spannung, an beiden Enden ein Bauch. Der Draht schwingt gewissermaßen nur in einem Oberton. Um den starken Grundton, d. h. Sekundärschwingungen gleicher Frequenz zu erhalten, müssen wir dem Sekundärdraht entweder die doppelte Länge geben oder ihm am unteren Ende die Spannung Null aufdrücken, indem wir ihn erden, vgl. *FG* (Fig. 100, XXXII).

Im letzteren Falle können wir annehmen, daß die Übertragung sich in ganz entsprechender Weise vollzieht wie bei dem mechanisch schwingenden Eisenstab. Die Schwingungen teilen sich einem elastischen Mittel mit, dem Äther innerhalb und außerhalb der Erde, und tragen den elektrischen Impuls in der Form von stehenden Wellen bis an den Sekundärdraht. Die beste Wirkung ergibt sich hiernach, wenn beide Drähte auf gleiche Frequenz gestimmt, d. h. von gleicher Länge sind. Der Primärdraht entspricht einem Viertel dieser Wellenlänge. Sind die Längen der Drähte nicht in Übereinstimmung, so wird der Sekundärdraht zwar auch durch den ersten Anstoß in Eigenschwingung versetzt, aber mit wesentlich geringerer Intensität. Ist seine Länge dagegen ein ungerades Vielfaches des Primärdrahtes, so unterstützen die einzelnen Impulse die eingeleitete Eigenschwingung und verstärken sie.

Wir kommen nun zu den Mitteln, welche angewendet werden müssen, um die elektrischen Induktionserscheinungen am Sekundärdraht zur Wahrnehmung zu bringen. Wir wollen diese Einrichtungen als Indikatoren bezeichnen. Es ist ohne weiteres klar, daß sich hierfür zwei Wege darbieten, je nachdem wir den Strom oder die Spannung dazu heranziehen. Beide müssen aber zur Aufnahme der größten Wirkung in die ihnen entsprechenden Schwingungsbäuche eingeschaltet werden. Diejenigen Einrichtungen, welche

Digitized by Google

auf Wechselströme ansprechen, sind in dem unteren Teil des Fangedrahtes, dicht über der Erdungsstelle, anzubringen, denn dort ist der Schwingungsbauch für die Ströme. Spannungsindikatoren wären dagegen, wenn möglich, an der Spitze des Fangdrahtes anzuordnen. Daß beide Mittel außerordentlich empfindlich und präzis wirkend sein müssen, ist selbstverständlich.

Ich will zunächst mit wenigen Worten die Stromindikatoren behandeln. Das durch hohe Empfindlichkeit ausgezeichnete Telephon ist für sich allein nicht verwendbar; seine Spule würde, in den Fangedraht unmittelbar eingeschaltet, durch ihre hohe Selbstinduktion die herangeführten schnellen Schwingungen gleichsam abdrosseln und wirkungslos bleiben. Vorzüglich geeignet ist aber das Telephon in Verbindung mit einem Mikrophon (Fig. 101, XXXII). Der Mikrophonkontakt *M* hat an sich nur einen geringen Widerstand und kann in die Erdleitung des Fangedrahtes eingeschaltet werden, ohne die elektrischen Schwingungen zu stören. Die ganz schwachen Wechselströme, welche durch den Kontakt hindurchgeführt werden, lagern sich über den Gleichstrom, den eine Batterie *B* ständig durch den Mikrophonkreis sendet, und versetzen ihn in geringe Schwingung, ähnlich wie die leise Berührung einer Libelle oder die Flaumfeder eines Vogels die stille Fläche eines Weihers kräuselt. Werden diese Schwingungen durch eine Induktionsspule in bekannter Weise transformiert, so können wir sie mit dem Telephon wahrnehmen. Allerdings entspricht der Ton nicht den schnellen Schwingungen, welche die Funkenstrecke aussendet — denn unser Ohr vermag nur Schwingungen bis zu etwa 10000 in der Sekunde wahrzunehmen, hier aber handelt es sich um Millionen —, wohl aber den ersten Stößen des Wogenschwalles, den das Einsetzen des Funkens auslöst; mithin entspricht der gehörte Ton den Unterbrechungen der Primärrolle des Induktoriums.

Der Mikrophonempfänger ist das bei weitem empfindlichste Mittel, welches wir zur Aufnahme funkentelegraphischer Signale verwenden können. Zwischen der Zentrale Schiffbauerdamm in Berlin und dem Kabelwerk Oberspree, 15 km in der Luftlinie entfernt und getrennt durch Berlin in seiner größten Ausdehnung von Nordwest nach Südost, konnte eine vollkommen sichere Ver-

Digitized by Google

ständigung mit 12 m langem Auffangedraht erzielt werden, der noch dazu völlig im Schatten großer Gebäude lag.

Wunderbarerweise ist aber der Mikrophonempfänger nicht nur der allerempfindlichste, sondern auch der älteste, und zwar war es der geniale Erfinder des Mikrophons selber, Professor Hughes, der Ende der siebziger Jahre diese Eigenschaft entdeckte. Er erzählt, wie er, mit seinem Mikrophon ausgerüstet die lange Straße, in der er wohnte, hinunterschreitend, deutlich das absetzende Funkenspiel des in seiner Wohnung befindlichen Induktoriums hören konnte. Eine eigene Fügung des Schicksals hielt ihn davon ab, die Entdeckung weiter zu verfolgen. Einige gelehrte Freunde, die er einlud, dem Experimente beizuwohnen, überzeugten sich zwar von der Richtigkeit desselben, fanden aber die Erklärung des Erfinders, der die Wirkung auf elektrische Ausstrahlungen der Funkenstrecke zurückführen wollte, so absurd, daß sie ihm ernstlich abrieten, einen Vortrag darüber in der Royal Society zu halten, weil sie fürchteten, sein wohlgegründeter wissenschaftlicher Ruf könnte dabei Schaden leiden. Die Zunftgelehrsamkeit erwies sich hierbei nicht zum erstenmal als ärgster Feind der Wissenschaft.

Leider ist die Verwendung des Mikrophon-Empfängers auf einzelne Fälle beschränkt. Die schwachen Wellenströme, welche er aufnimmt, lassen sich zwar im Telephon hörbar machen, gestatten aber nicht die Benutzung eines Relais mit Schreibvorrichtung, um die Zeichen in Morse-Schrift festzulegen. Für viele Zwecke ist dies aber eine nicht zu umgehende Forderung.

Dieser Bedingung läßt sich nun aber in weitestgehendem Maße genügen, wenn wir zur Aufnahme der elektrischen Schwingungen Spannungsindikatoren benutzen. Einen solchen haben wir bereits vorhin beim Anzünden der Bogenlampe kennen gelernt. Im Spannungsbauch der schwingenden Drähte stellten wir durch Funkensprühen den Kurzschluß eines Gleichstromkreises her und lösten dadurch bereitstehende elektrische Kräfte aus, welche die Signalgebung in beliebig verstärkter Form gestatten. Hier bei der geringen Entfernung erhielten wir millimeterlange Funken und konnten durch verhältnismäßig einfache und rohe Mittel die Wirkung verstärken und die Signale weithin sichtbar machen. Bei

Digitized by Google

Entfernungen von 100 km und mehr sind die am Spannungsbauch der Drähte erhaltenden Funken millionenmal kleiner, es sind deshalb entsprechend feinere Mittel zu wählen.

Die ersten Erfolge der Funkentelegraphie sind erst möglich geworden durch die Erfindung eines hochempfindlichen Spannungsindikators, des Fritters. Ich darf in dieser Versammlung die Wirkungsweise des Fritters im allgemeinen wohl als bekannt voraussetzen und kann mich kurz fassen. In einer evakuierten Glasröhre (Fig. 102, XXXIII) befinden sich zwei eingeschliffene Silberkolben, zwischen denen ein feines Metallpulver in loser Schichtung einen fast unendlich großen Übergangswiderstand bildet. Mit den Silberkolben sind Platindrähte verbunden, die, in die Glaswand eingeschmolzen, einerseits dazu dienen, die elektrischen Schwingungen des Fangedrahtes an das Pulver heranzuführen, anderseits einen Stromkreis zu schließen, in dem sich außer einem kleinen Trockenelement noch ein Relais befindet. Wird die Röhre einer pulsierenden Wechselspannung ausgesetzt, so schließen die unendlich feinen Funken, die in dem Metallpulver auftreten, den Relaiskreis und geben durch den Schluß einer stärkeren Lokalbatterie ein niederschreibbares Zeichen. Dabei bilden sich aus kondensierten Metallteilen lose Brücken. Die geringe Erschütterung eines gegen die Röhre schlagenden Klöppels bringt die Brücken zum Zerfall und stellt den unendlich großen Widerstand der Röhre wieder her. Durch kürzere oder längere Zeichengebung kann man somit Punkte und Striche des Morsealphabets erzeugen.

Wie mehrfach erwähnt, muß der Fritter, da er nur auf Spannungen anspricht, tunlichst in einem Spannungsbauche angeschlossen werden. Vergegenwärtigen wir uns nun die Verhältnisse am Fangedraht. Wollen wir den starken Grundton der Schwingung ausnutzen, müssen wir den Fangedraht unten erden; dann bildet sich aber der Spannungsbauch an der Spitze aus, die für uns unzugänglich ist. Es hat langer Überlegungen und eingehender Studien bedurft, ehe das überaus einfache Mittel gefunden wurde, den zündenden Funken des Spannungsbauches aus luftiger Höhe in erreichbare irdische Nähe zu bringen. Das Experiment mit den schwingenden Eisenbändern gibt uns jetzt

Digitized by Google

einen deutlichen Fingerzeig. Schließen wir in der Nähe der Erdungsstelle an den Fangedraht einen gleichgestimmten Verlängerungsdraht, so pflanzen sich die Schwingungen durch den Knotenpunkt fort und bilden am Ende dieses Drahtes einen Spannungsbauch in ähnlicher Größe wie an der Spitze. Der Verlängerungsdraht braucht nicht geradlinig geführt zu werden; wir können ihn auch aufrollen zu einer elektrisch äquivalenten Spule (Fig. 103, XXXIII).

Jedes richtige Mittel pflegt aber eine Reihe von günstigen Nebenwirkungen mit sich zu führen. So auch hier. Die Erdverbindung des Fangedrahtes schützt den Fritter vor unbefugten elektrischen Störenfrieden. Zu den unerträglichsten gehörten früher die elektrischen Entladungen der Atmosphäre. Es ist bekannt, daß in den höheren Schichten der Luft andere elektrische Spannungen herrschen als in der Nähe der Erdoberfläche; zudem wechseln diese Spannungen besonders an schwülen Tagen. Es war früher keine Freude für den Funkentelegraphisten, wenn die geschwätzige Atmosphäre mit unaufhörlichem Geplapper seine Morsezeichen verwirrte. Dieser Störenfried ist jetzt fast beseitigt.

Die besprochene Schaltung sichert aber auch gegen das Eindringen nicht abgestimmter Zeichen eines fremden Funkengebers; allerdings darf er nicht allzu nah aufgestellt und allzu wirksam sein. Dann tritt der Fall ein, daß der Empfänger durch den ersten Stoß des Funkens in geringe Eigenschwingungen versetzt wird. Bei größeren Entfernungen reichen diese einmaligen Stöße nicht aus, sondern das Ansprechen erfolgt erst, wenn die zahlreichen Pulsationen des einzelnen Funkens in ihrem Zeitmaß mit den Perioden der Eigenschwingung zusammentreffen und dadurch die Wirkung allmählich verstärken. Was ich allmählich nenne, vollzieht sich allerdings in Bruchteilen von zehntausendstel Sekunden.

Die Sicherheit der Zeichengebung ist durch Anwendung dieser Schaltungen nicht nur wesentlich erhöht, sondern die Übertragungsweite auch beträchtlich vergrößert worden. Von hoher praktischer Bedeutung ist der Umstand, daß vorhandene Erdleiter, wie Blitzableiter und eiserne Schiffsmaste, ohne weiteres zum Geben und Empfangen der Funkentelegramme benutzt werden

Digitized by Google

können. Die Abstimmung korrespondierender Apparate sowie das gleichzeitige Empfangen verschiedener Telegramme mit einem Fangedraht ist, wie ich bei einer früheren Gelegenheit durch Versuche beweisen konnte, als eine nunmehr gelöste Aufgabe zu betrachten.

Die Mittel zur Vervollkommnung der Funkentelegraphie sind aber damit nicht erschöpft. Legen wir uns zunächst die Frage vor, wie ein Empfangsapparat bei gleicher Sicherheit der Wirkung empfindlicher gestaltet werden kann, so werden wir in erster Linie an den wesentlichsten Teil des Apparates, den Fritter, denken. Jahrelange Bemühungen haben mir gezeigt, daß alle Bestrebungen, den Fritter empfindlicher zu machen, aussichtslos sind. Es ist dies zwar durchaus möglich durch Benutzung feineren Pulvers bei vermehrter Beimischung von Silber — doch nur auf Kosten der Präzision der Auslösung. Wenn aber ein Fritter durch den leisen Schlag des Klopfers nicht sofort seinen unendlich großen Widerstand annimmt, ist er für praktische Verwendung unbrauchbar. Die Sicherheit des Betriebes der Funkentelegraphie ist zurzeit noch von erheblich größerer Bedeutung als die Übertragungsweite, denn sie hat zunächst den Nachweis der völligen Zuverlässigkeit zu erbringen. Man wird deshalb gut tun, sich vorläufig mit einer geringeren Empfindlichkeit des Fritters zu begnügen.

Ein anderer Gesichtspunkt ist aussichtsvoller. Die Funkentelegraphie ist eine Energieübertragung, und nur ein bestimmtes Maß von Energie gelangt am Fangedraht zur Aufnahme. Die Energie setzt sich aus Strom und Spannung zusammen; da nun der Fritter ausschließlich auf Spannung anspricht, so wird man darauf Bedacht nehmen müssen, die Spannung des verfügbaren Energiebetrages auf Kosten des Stromes tunlichst zu erhöhen. Marconi hat in neuerer Zeit nach dem Vorgange von Lodge mit Erfolg das Prinzip des Transformators für diesen Zweck in Anwendung gebracht. Ein anderes Mittel ist aber noch wesentlich wirkungsvoller. Ein akustisches Analogon soll uns dieses erläutern. Ich habe hier eine Stimmgabel, welche ich mit einem Hammer berühre und dadurch in Schwingungen versetze. Der Ton ist nur leise — setze ich die Stimmgabel aber auf einen geeigneten Resonanzboden, so schwillt er sofort an zu beträchtlicher Stärke.

Digitized by Google

Eine ähnliche Resonanzwirkung können wir auch bei elektrischen Schwingungen erzielen. Jedem Elektrotechniker ist der sogen. Ferranti-Effekt bekannt. Wenn man die Klemmen einer Wechselstrommaschine mit den beiden Leitern eines offenen Kabels verbindet, kann man die elektrischen Verhältnisse so wählen, daß die Spannung an den Enden des Kabels zu beträchtlicher Größe anschwillt, welche die Spannung der Maschine um ein Vielfaches überschreitet. Es ist dazu nur erforderlich, die elektrischen Dimensionen des Kabels, d. i. Widerstand, Kapazität und Selbstinduktion so zu wählen, daß seine Eigenfrequenz mit der von der Maschine erzeugten Frequenz nahezu übereinstimmt. Das Kabel muß also auf die Frequenz des eingeleiteten Wechselstromes abgestimmt sein.

Verbinden wir nun mit einem von schnell pulsierenden Strömen durchzuckten Drahte eine auf die Frequenz der Schwingungen abgestimmte Spule mit großer Selbstinduktion bei geringer Kapazität, so erhalten wir an dem freien Ende der Spule eine wesentlich größere Spannung. Die übertragene Energie wird gewissermaßen auf einen stärker schwingenden Resonanzboden übersetzt; die eingeleitete Spannung wird auf Kosten des Stromes gleichsam multipliziert; ich habe darum für diese Einrichtung den Namen Multiplikator vorgeschlagen. Mit einem Transformator hat er nichts gemein, denn bei diesem, wie auch bei dem bekannten Autotransformator oder dem sog. Spartransformator, haben wir stets mit zwei für sich bestehenden Schwingungskreisen zu tun. Bei dem Multiplikator dagegen wird in eine einzelne Spule niedrig gespannte Energie eingeleitet und am Ende als hochgespannte Energie abgeleitet. Die folgenden Versuche werden Ihnen die merkwürdige Wirkung, die man damit erzielen kann, schneller begreiflich machen, als meine Worte es vermöchten.

[Eine Reihe von abgestimmten Multiplikationsspulen, die alle zugleich an einen Schwingungskreis angeschlossen sind, kommen bei Einstellung verschiedener Frequenzen mit Hilfe einer veränderbaren Selbstinduktion nacheinander zur Wirkung und zeigen weithin leuchtende elektrische Strahlungserscheinungen.]

Die vorgetragenen wissenschaftlichen Grundgesetze der Funkentelegraphie, welche aus längeren Untersuchungen hervor-

Digitized by Google

gegangen und seit einem halben Jahre Gemeingut geworden sind, wurden von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft unter Leitung des Grafen von Arco zur Ausbildung zahlreicher erfolgreicher Schaltungen für die Funkentelegraphie benutzt, die alle zu beschreiben hier zu weit führen würde, deren neueste Form aber die hier im Saal befindlichen Vorrichtungen darstellen. Ihre Wirkungsweise ist nach dem Gesagten sofort verständlich.

Der Sender (Fig. 104, XXXIII) besteht aus einem an der Fahnenstange des Gebäudes befestigten Draht, der bis hinunter zur Erde geführt und dort mit der Wasserleitung verbunden ist. Eine Schlinge dieses Drahtes ist durch das Fenster hier in den Saal geleitet und wird bei *F* durch ein Induktorium mit Funkenstrom gespeist. Um dies zu ermöglichen, ist der andere Pol der Funkenstrecke durch einen abgestimmten Kondensator *C* an Erde gelegt. Ähnlich wie das angeschlagene Eisenband des früheren Versuches wird der Draht hier durch elektrische Funken angestoßen und gerät in Schwingungen, deren Wellenlänge der vierfachen Drahtlänge entspricht. Wollen wir mit einer größeren Wellenlänge telegraphieren, so haben wir nur nötig, in die Erdleitung eine Zusatzspule *Z* zu schalten, die ich durch Punktierung angedeutet habe. Sie entspricht einer bestimmten äquivalenten Drahtlänge, um welche wir somit die Viertelwellenlänge vergrößern. Ein ganzer Satz von solchen Ergänzungsspulen steht für diese Verwendung bereit. In jedem Fall ist aber die Schwingung in dem durch die Erdverbindungen geschlossenen Kreise auf die Schwingung des Drahtes abzustimmen, um die größte Wirkung zu erhalten. Dies geschieht in einfachster Weise durch Verstellen einer regulierbaren Selbstinduktion *S* oder des Kondensators *C*, die zu diesem Zweck mit bestimmten Marken gezeichnet sind.

Als Empfänger (Fig. 105, XXXIII) dient der gleiche Draht, an welchen ebenfalls vermittelst der Schlinge ein Verlängerungsdraht in Form einer äquivalenten Spule *V* befestigt ist. Der Spannungsbauch am Ende derselben wird verstärkt durch eine abgestimmte Multiplikationsspule *M* und diese unmittelbar mit dem Fritter verbunden. Es ist auch möglich, die Wirkung beider Spulen durch eine einzige von entsprechender Wicklung zu ersetzen. Die Erdleitung des

Digitized by Google

Fritters enthält das Trockenelement und das Relais, welche, um die Schwingungen nicht zu stören, durch einen Kondensator überbrückt sind. Die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft garantiert bei diesen Einrichtungen Abstimmung auf bestimmte Wellenlängen innerhalb der gebotenen Grenzen und sichere Verständigung auf 100 km über See bei 50 m Masthöhe. In letzter Zeit ist es der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft gelungen, die Leistungsfähigkeit ihrer Apparate noch wesentlich zu steigern. Zwischen der von der Hamburg-Amerika-Linie in Duhnen bei Cuxhaven errichteten Landstation und dem Schnelldampfer „Deutschland" wurden Telegramme bei 150 km Entfernung gewechselt trotz der mäßigen Masthöhe von 32 m an Bord der „Deutschland".

Fig. 106, XXXIV zeigt ein solches Telegramm in Autotypie. Man ersieht aus der Klarheit der einzelnen Zeichen, daß die äußerste Grenze der Signalentfernung noch lange nicht erreicht war.

Der Text lautet:

„Zweimal Anruf. Hundert v(!)unfzig Kilometer. Zweimal Schlußzeichen."

„Anfangszeichen. Leben Sie wohl. Zweimal Schlußzeichen."

„Zweimal Anfangszeichen und Anruf. Auf Wiedersehen. Schlußzeichen."

Die Funkentelegraphie hat, wie Sie hieraus ersehen, das Stadium der tastenden Versuche verlassen, sie ist jetzt einer zielwußten Ingenieurtätigkeit erschlossen, und die regsamen Kräfte der Industrie werden schon das ihrige tun, das Anwendungsgebiet in schnellem Tempo zu erweitern. Zunächst wird dort, wo Leben und Gut der Menschen noch am meisten gefährdet ist, an der Küste und auf offener See, die Funkentelegraphie bald ein unentbehrliches Verkehrsmittel sein, und ich schätze die Zeit nicht fern, wo jedes größere Schiff mit dem so einfachen und nützlichen Apparate ausgerüstet sein wird.

Aber auch als überseeisches Verkehrsmittel wird der Funkentelegraph in Zukunft in vielen Fällen das Kabel entbehrlich machen, wenngleich wir in dieser Beziehung die Erwartungen nicht allzu hoch spannen dürfen.

Digitized by Google

Auch der Weg, der für weiteren Fortschritt sich öffnet, liegt klar zutage. Die zum Beginn meines Vortrages erörterten Gesetze zeigten uns, daß die Übertragungsweite im wesentlichen von drei Umständen abhängt: von der Länge der parallelen Drähte, der Frequenz der Pulsationen und dem Mittelwert der benutzten Ströme. Die ersten beiden sind kaum noch einer Steigerung fähig; auch bedingt die Verlängerung der Drähte größere Wellenlängen und damit verringerte Frequenzen, es sei denn, ein völlig neues Mittel werde gefunden, welches die Wellenlänge unabhängig von der benutzten Drahtlänge zu machen gestattet. Es bleibt also nur eine Verstärkung der induzierenden Ströme. Dies hängt von zwei Größen ab: von der Kapazität oder Aufnahmefähigkeit der Drähte und von der wirksamen Funkenspannung. Je höher wir die Drähte führen, desto geringer wird die Kapazität der von der Erdoberfläche entfernten Teile; je umfangreicher wir sie gestalten, desto schwieriger ihre Befestigung in Sturm und Wetter. Auch hier ist also dafür gesorgt, daß die Bäume nicht bis in den Himmel wachsen.

Aber angesichts der wunderbaren Erscheinungen, welche uns die Natur in dem geheimnisvollen Spiel des elektrischen Funkens offenbart, wird man unwillkürlich zum Dichter, ja selbst ein so ernster Gelehrter wie Prof. Ayrton kann es sich nicht versagen, ein Zukunftsbild wachend zu träumen: „Einst wird kommen der Tag, wenn wir alle vergessen sind, wenn Kupferdrähte, Guttaperchahüllen und Eisenband nur noch im Museum ruhen, dann wird das Menschenkind, das mit dem Freunde zu sprechen wünscht und nicht weiß, wo er sich befindet, mit elektrischer Stimme rufen, welche allein jener hört, der das gleichgestimmte elektrische Ohr besitzt. Es wird rufen: Wo bis du? und die Antwort wird klingen in sein Ohr: Ich bin in der Tiefe des Bergwerkes, auf dem Gipfel der Anden oder auf dem weiten Ozean. Oder vielleicht wird keine Stimme antworten und es weiß dann, sein Freund ist tot.“ Ewig aber und jugendfrisch — so wollen wir hinzufügen — lebt die Wissenschaft und schöpft Jahrhundert um Jahrhundert neue wertvolle Schätze aus dem unversieglichen Born der Natur.

Digitized by Google

9.

Resonanz und Dämpfung elektrischer Wellen.

(1906.)

Seit den ersten Versuchen im Jahre 1897 hat sich die Funkentelegraphie zu einer technischen Wissenschaft entwickelt, und vieles, was damals fast wunderbar schien, sitzt heute fest in unserem Ideenkreise. Ich fürchte nicht, schwer verstanden zu werden, wenn wir uns gemeinsam auf den Boden des Ingenieurs stellen, der lediglich die Erscheinungen beobachtet, ihre Gesetze ermittelt und aus deren Kenntnis die Mittel ableitet, um die Kräfte der Natur in bestimmte Bahnen zu lenken. Dies nennt man „Erfinden". Wie mancher kluge Diener seinen Herrn, suchen auch wir die Meisterin Natur dienend zu beherrschen. Die Nützlichkeitstheorie ist die einzige, von welcher der Ingenieur sich leiten lassen darf, will er nicht auf Abwege geraten. Das Fragen nach dem Warum und Wie überlassen wir andern Forschern, von welchen wir uns aber reinlich scheiden wollen unter Beherzigung von Goethes Warnung: Das ist eine von den alten Sünden: sie meinen Rechnen das sei Erfinden.

Unsere Kenntnis der elektrischen Phänomene verdanken wir wenigen bahnbrechenden Naturbeobachtern. Der Name des ersten verschwimmt im Nebel der Vorzeit, er erkannte zuerst die anziehende Kraft des geriebenen Bernsteins. Sie zeigt uns die Spannkraft der Elektrizität. Ihre mächtigste Äußerung erblicken wir in der Natur im Gewitterblitz. Die ersten technischen Mittel zur Hervorrufung starker elektrischer Spannungsunterschiede verdanken wir dem erfinderischen Bürgermeister von Magdeburg Otto von Guericke.

Näher gerückt ist uns das Wirken des zweiten Bahnbrechers Volta, der am Ende des 18. Jahrhunderts auf Grund einer Beob-

Digitized by Google

achtung Galvanis am Froschschenkel die künstliche Hervorrufung einer neuen, bis dahin unbekannten, elektrischen Erscheinung erfand, den elektrischen Strom. Die Erzeugungsmittel waren chemischer Art, seine Erfindung wirkte darum fördernd zurück auch auf die Kenntnis der chemischen Kräfte der Natur, und die Wende des Jahrhunderts wurde die Geburtsstunde eines Zwillingspaares, gleich bedeutsam für die Neuzeit, der Chemie und der Elektrotechnik.

Der Strom ist der Ausgleich elektrischer Spannungsdifferenzen auf einem vorgeschriebenen, zumeist metallischen Wege. Die neue elektrische Erscheinung, welche dabei in und am verbindenden Draht auftritt, führt man zurück auf ein fließendes Etwas, dessen Natur die Forschung bisher vergeblich zu ergründen versuchte. Die Natur-Philosophie der Alten ließ völlig im Stich, denn sie kannten die Erscheinung überhaupt nicht. Die Philosophie des 19. Jahrhunderts half sich nicht allzu geistreich, denn einer ihrer ersten Vertreter (Schelling) definierte den elektrischen Strom als zerbrochenen Magnetismus. Das hat uns wenig genutzt, und das elektrische Zeitalter wäre schwerlich gekommen, wenn die Technik sich nur bemüht hätte, bessere Erklärungen zu versuchen, anstatt die Kenntnis der Erscheinungen zu fördern und Mittel zu erfinden, um sie nützlich zu verwerten.

Die schnell erkannten Wirkungen des elektrischen Stromes beziehen sich, außer auf die schon genannten chemischen Kräfte, auf Wärme und Licht. Jeder vom Strom durchflossene Draht erwärmt sich und sendet bei gesteigerter Zufuhr Lichtstrahlen aus.

20 Jahre nach Volta beobachtete der Däne Oersted eine neue überraschende Wirkung des Stromes: er sieht zuerst die Ablenkung der Magnetnadel und erkennt damit das Auftreten magnetischer Kräfte außerhalb des vom Strom durchflossenen Drahtes. Wiederum eröffnet sich eine neue Welt für die Betätigung der Technik. Arago erfindet den Elektromagneten, indem er den Strom in zahlreichen Windungen um einen Eisenkern herumführt. Starke Kraftwirkungen gehen davon aus. Durch dicken Karton hindurch wirkt er auf die regellose Masse der Eisenfeilspäne, die ich wie eine zähe Flüssigkeit aus einer Flasche darüber

Digitized by Google

schütte und ordnet ihre Struktur wie zu einem aufgebäumten Pferdeschweif, den ich mit einem Roßkamm strählen kann (Fig. 107, XXXV). Ein Schlüsselbund wird meiner Hand entrissen und fliegt hinüber (Fig. 108, XXXV), um in bizarren Formen kleben zu bleiben. Die in ein dickes Glasrohr eingefüllten Späne erstarren zum festen Stabe (Fig. 109, XXXVI), so daß ich das Glas abziehen kann. Bei Unterbrechung des Stromes fallen die Eisenfeilspäne wieder zum regellosen Chaos (Fig. 110, XXXVI) zusammen. Lebhaft wirkten diese Kraftäußerungen auf den Geist eines jungen amerikanischen Malers, der die magneterregende Wirkung mit Hilfe dünner Drähte in weite Fernen trägt und die nach ihm benannte Morse-Telegraphie erfindet.

Gehen wir von einer Grundtatsache aus, indem wir einen geradlinigen vom Strom durchflossenen Leiter betrachten. Nach welchen Gesetzen ordnen sich die magnetischen Kräfte im umgebenden Luftraum? Eine Reihe von Magnetnadeln (Fig. 111, XXXVI) sind hier rings um den Draht gestellt. Sie orientieren sich in bekannter Weise nach dem magnetischen Nordpol der Erde. Schalte ich den Strom ein, so erfahren sie alle eine Ablenkung, sie gruppieren sich zu einer geschlossenen eisernen Linie (Fig. 112, XXXVI) rings um den Draht. Hieraus folgt, daß die magnetische Kraft den stromführenden Draht umkreist wie ein Wirbelwind, dessen Kraft mit der Entfernung vom Drahte abnimmt. Aber nicht nur eine richtende Kraft nehmen wir wahr, die auf schon vorhandene Magnete wie diese Nadeln einwirkt, sondern auch eine magneterzeugende Wirkung. Wären die Nadeln aus jungfräulichem Eisen, dessen Moleküle die Zwangswirkung magnetischer Kraft noch niemals verspürt, auch sie würden sich richten, und, wenn aus Stahl, den Magnetismus sogar dauernd behalten. Die Erscheinung wird noch deutlicher, wenn wir statt der Nadeln die winzigen Teile eines unmagnetischen Eisenpulvers verwenden und auf eine Glasplatte streuen, die der stromführende Draht senkrecht durchschneidet. Wir wollen das Bild vor der elektrischen Laterne erzeugen und in starker Vergrößerung (Fig. 113, XXXVII) auf die Tafel werfen. Sie sehen, wie bei vorsichtigem Klopfen die Eisenteile sich in Reih und Glied ordnen in konzentrischen Kreisen rund um den Draht. Alle machen gleichsam Front gegen den kommandierenden

Digitized by Google

Strom. Wir schließen hieraus, daß die magnetischen Kräfte immer senkrecht stehen zu den am Drahte wirkenden elektrischen Kräften. Die eisernen Glieder stehen still, wie mit präsentiertem Gewehr.

Welches Leben können wir aber in ihre Reihen bringen, wenn wir statt des gleichförmigen Volta-Stromes den pendelnden Wechselstrom Faradays verwenden. Eines Grobschmieds Sohn war es, der den erstaunten Vertretern der Schulwissenschaft im ersten Drittel des vorigen Jahrhunderts die wunderbaren Wirkungen einer neuen Stromart zeigte und die Mittel zu ihrer Erzeugung erfand. Charakteristisch ist die Geschichte dieser Erfindung. Faraday erzählt, wie ihn jahrelang der Gedanke erfüllt habe, der Erfindung Aragos: die Erzeugung eines Magneten durch den elektrischen Strom, eine zweite an die Seite zu stellen: die Erzeugung des elektrischen Stromes durch einen Magneten, denn allen Naturerscheinungen wohne das Prinzip der Dualität inne. In seinen Mußestunden pflegte er einen Aragoschen Magneten, den er in der Westentasche stets bei sich trug, hervorzuholen und den kleinen Eisenkern mit seiner Drahtwicklung sinnend zu betrachten. Endlich kam die Stunde der Intuition, er erkannte, daß ein neues Moment dazu erforderlich war: die Bewegung. Überaus einfach lautet das von ihm erkannte Naturgesetz. Wenn man einen Draht über dem Magneten bewegt, so entsteht in dem Draht ein elektrischer Strom; das folgende Experiment wird uns die Tatsache zeigen und zugleich noch mehr: auch durch Umkehr der Bewegung entsteht ein Strom, jedoch von entgegengesetzter Wirkung, wir deuten sie als eine Umkehr seiner Richtung.

Ein dicker Kupferstab ist Teil einer Drahtschleife, die ein empfindliches Instrument enthält zum Nachweis auftretender Ströme (Fig. 114, XXXVII). Eine Magnetnadel wird dadurch abgelenkt und zeigt die Bewegung und ihre Richtung durch einen Spiegel, der auf jene Wand einen Lichtfleck wirft. Fahre ich mit dem Kupferstab über dem Magnetpol hin und her, so zeigt die pendelnde Bewegung des Lichtflecks das Hinundherwogen der elektrischen Kraft; es entsteht ein Strom von wechselnder Richtung, ein Wechselstrom, wie man ihn kurz benannt hat. Die Erfindung

Digitized by Google

ist von weittragendster Bedeutung: sie lehrt uns die mechanische Erzeugung starker Ströme und begründet damit die Elektrotechnik, die Anwendung der durch Maschinen erzeugten Elektrizität.

Rotierende Drahtmassen, auf die sogenannten Anker der Dynamomaschinen gewickelt, nähern und entfernen sich von den Polen mächtiger Elektromagnete und erzeugen einen pendelnden Strom, den man in weitverzweigte Kabelnetze leiten und mannigfach verwerten kann. Es ist zu beachten, daß unsere Maschinen immer nur Faradaysche Wechselströme erzeugen, die wir aber für manche Verwendung durch künstliche Einrichtungen in Voltasche Gleichströme umwandeln.

Die heute zu erörternden Erscheinungen betreffen lediglich Wechselströme, die man zur Erleichterung gegenseitigen Verständnisses in bildlicher Form darzustellen pflegt. Denken wir (Fig. 115, XXXVIII) uns an irgendeiner Stelle des von Wechselstrom durchflossenen Drahtes *AB* bei *0* einen Apparat eingeschaltet, der die augenblickliche Stärke des Stromes anzeigt und zu messen gestattet. Die Stärke desselben wollen wir auf einer in *0* Senkrechten abgetragen denken, sie steigt dann von *0* über *1* nach *2*, fällt wieder ab über *3* auf *0*. Tragen wir der wechselnden Stromrichtung dadurch Rechnung, daß wir die folgenden Ströme nach unten auftragen, so wachsen dieselben von *0* über *4* nach *5* und fallen über *6* wiederum auf *0*, um das Spiel von neuem zu beginnen. Wir nehmen ein Auf- und Abwogen der Stärke des Stromes wahr, das bei zeitlicher Auseinanderziehung die Form einer Welle annimmt. Die Zeit, welche einen Wellenberg und ein darauf folgendes Wellental umfaßt, nennt man die Periodenzeit, die Anzahl derselben in einer Sekunde die Frequenz des Wechselstromes. Die Starkstromtechnik verwendet zumeist geringe Frequenzen, etwa 50 in der Sekunde.

Die Oerstedsche Entdeckung hat unsere Sinne geschärft: wir wissen, daß in der Umgebung des Drahtes magnetische Kräfte auftreten, welche mit dem Anschwellen des Stromes zunehmen, mit dem Abklingen sich schwächen und bei jeder Umkehr des Stromes ihre Richtung gleichfalls wechseln. Dem Menschen fehlt ein magnetischer Sinn, trotz der gegenteiligen Behauptung

Digitized by Google

der Magnetopathen, wir können deshalb das Auf- und Abwogen der magnetischen Kraft nicht direkt wahrnehmen, wir bedürfen dazu künstlicher magnetischer Augen. Ein solches wäre die Magnetnadel, schnellen Schwingungen würde sie aber der Trägheit ihrer Masse wegen nicht folgen können. Ein anderes wirksames Mittel enthüllte sich dem Genius Faradays, es folgt wieder aus dem Prinzip der Dualität. Das Hin- und Herpendeln des Stromes ruft magnetische Wallungen im Außenraum hervor. Das Hin- und Herwogen der magnetischen Kraft erzeugt wiederum in einem anderen unbeteiligten, gleichsam jungfräulichen Draht elektrische Schwingungen von gleicher Frequenz, man nennt dies eine Transformation. Die im Raume schwingenden Kräfte übertragen den Strom von Draht zu Draht ohne verbindende metallische Leitung.

Ein Experiment wird uns dies zeigen. Hier steht ein Aragoscher Elektromagnet, wir führen durch seine Spiralwindungen einen kräftigen Wechselstrom, erzeugt im Maschinensaale (Fig. 58, XXI). Eine zweite Drahtspule halte ich in der Hand, nähere ich sie dem Elektromagneten, bringe ich sie in das schwingende magnetische Feld desselben, so wird sie gleichfalls von Wechselströmen durchzuckt. Um sie nachzuweisen habe ich mit den Windungen der Spule eine kleine Glühlampe verbunden, ihr Aufleuchten zeigt uns das Auftreten des sogenannten sekundären Stromes.

Die überraschende Möglichkeit einer Kraftübertragung durch den Raum tritt uns hier zum ersten Male entgegen. In der Luftleere würde das Experiment genau so glücken, es ist also nicht das Luftmeer, welches die magnetischen Wellen schlägt, was ist es sonst? Die Natur breitet zurzeit noch einen undurchdringlichen Schleier darüber, in scheuer Ehrfurcht zieht sich der Techniker zurück; die physikalische Forschung ist dreister, sie hat schon den Schleier berührt. Ob sie ihn aber jemals völlig heben wird? An den starken Wirkungen der geheimnisvollen Naturkraft erfreut sich jedoch das Auge des Ingenieurs. Er übersieht sofort die Möglichkeit einer nützlichen Verwertung. In den Transformatorenhäuschen, die Sie in vielen Städten hie und da auf den Straßen

Digitized by Google

finden, an den Blitzpfeilen kenntlich, sind zwei solcher Spulen untergebracht, sie sind übereinander oder nebeneinander angeordnet, jedoch ohne metallische Berührung. Durch die Primärspule flutet der Wechselstrom, den die Zentrale mit mächtigen Dampfmaschinen erzeugt, auf die sekundäre Spule wird durch das schwingende Magnetfeld die für den Stadtbezirk erforderliche Elektrizität übertragen.

Eine Erweiterung erfuhren die Faradayschen Gesetze durch Heinrich Hertz. Er zeigte uns, daß der magnetische Wellenschlag des durch elektrische Pulsationen erschütterten Raumes in desto weitere Entfernungen getragen wird, je schneller die Pulsationen erfolgen. Er fand zugleich die Mittel zu Erzeugung elektrischer Schwingungen, die millionenmal schneller auf- und niederzucken als diejenigen Faradays. Durch mechanische Bewegung der Drähte ist diese Aufgabe nicht lösbar. Dies verbietet die Trägheit der Materie, ihre Reibung und die bei schneller Rotation auftretende Fliehkraft. Betrachten wir seine Erfindung gleich in der Form, welche ihr Marconi bei seinen ersten epochemachenden Versuchen gegeben hat.

Ein Draht hängt senkrecht über einer leitenden Fläche, ohne sie zu berühren; durch vorübergehende Verbindung mit einer elektrischen Spannungsquelle wollen wir ihn geladen denken (Fig. 116, XXXVIII). Ob wir dazu ein geriebenes Stück Bernstein, oder eine große, von Elementarkraft getriebene Maschine verwenden, bleibt sachlich gleich. Wir sprechen von einer Ladung des Drahtes und wollen damit ausdrücken, daß eine gewisse Quantität der elektrischen Eigenschaft gleichsam eingefüllt wird, wie Wasser in einen Schlauch oder Wurstdarm. Wie dieser für das Wasser, so hat auch der Draht nur eine bestimmte Aufnahmefähigkeit für die elektrische Eigenschaft. Da der Schlauch elastisch, ist diese vom Druck des Wassers abhängig; wollten wir darum den Fassungsraum beziffern, so gälte dies nur für einen bestimmten Druck. Auch die elektrische Aufnahmefähigkeit ist vom Druck oder der elektrischen Spannung abhängig. Für einen bestimmten Druck ist die Aufnahmefähigkeit immer die gleiche, man nennt sie die elektrische Kapazität. Denken wir uns den Wasserdruck in dem Schlauch

Digitized by Google

über eine zulässige Grenze gesteigert, was tritt ein? Der Schlauch zerplatzt, und zwar an seiner schwächsten Stelle, das Wasser spritzt aus. Auch der Draht kann die elektrische Spannung nur bis zu einer bestimmten Grenze ertragen, überschreiten wir diese, so spritzt auch die Elektrizität, d. h. die elektrische Eigenschaft gleichsam aus an der schwächsten Stelle; diese ist hier am unteren Ende, denn die darunterliegende leitende Fläche übt eine saugende Wirkung aus, sie hat der Spannung des Drahtes gegenüber stets eine Unterspannung. Ähnliches würde der Wasserschlauch zeigen, wenn das untere Ende von einer Kapsel umschlossen wäre, in welcher wir eine Luftverdünnung erzeugten. Das Ausspritzen der elektrischen Eigenschaft erfolgt unter gewaltigem Druck, die durchspritzte Luft erhitzt sich dabei, mitgerissene Drahtteilchen kommen ins Glühen und wir nehmen eine Lichterscheinung wahr: den elektrischen Funken. Das Überfließen der elektrischen Eigenschaft nennen wir Strom.

Der Vorgang vollzieht sich aber unter starker Spannung mit allen Kennzeichen der Elastizität. Wie eine gespannte Feder nach ihrer Auslösung, d. h. nach plötzlicher Beseitigung der Hemmung, über die Gleichgewichtslage hinausschießt und erst nach einer Reihe von zitternden Schwankungen zur Ruhe kommt, so geht auch hier die elektrische Eigenschaft in die pulsierend bewegte Form über, in einen Wechselstrom, aber von einer so ungeheueren Frequenz, wie wir sie durch mechanische Bewegungsmittel auch nicht annähernd erzeugen können. Die elektrische Spannung des Drahtes wechselt dabei unaufhörlich zwischen Überdruck und Unterdruck, während die glühende Funkenstrecke eine den Draht mit der Erde verbindende Bahn darstellt.

Die Strömung nimmt dabei eine eigenartige Form an: da das Abfließen der Ladung von allen Stellen des Drahtes zugleich erfolgt muß die Stärke des Stromes nach unten hin zunehmen. In einem bestimmten Moment haben wir also eine Stromverteilung wie sie die Fig. 117, XXXVIII in AB uns zeigt, wenn wir die Stärke der Strömung an jeder Stelle durch eine wagerechte Linie angeben. Dabei nimmt die Ladung allmählich ab, so daß im nächsten Moment nicht mehr AB sondern AB' die Stromverteilung veranschaulicht.

Digitized by Google

Nach völligem Verschwinden der Ladung beginnt, dem oszillierenden Charakter der Erscheinung entsprechend, ein Zurückfließen des Stromes. Tragen wir der Richtungsänderung Rechnung, so können wir die Stärke dieser Strömung durch wagerechte Linien nach links darstellen. Dem Anschwellen der Strömung entspricht ein Übergang von AC' nach AC.

In umgekehrter Weise verhält sich die Verteilung der Spannung. Dort, wo das Fließen am geringsten, an der Spitze des Drahtes, staut sich die Ladung, die Spannung ist dort am größten, unten ist sie immer im Fließen, daher ohne jede Spannung. Die Fig. 118, XXXVIII zeigt uns die Spannungsverteilung, wenn wir den Überdruck nach rechts, den Unterdruck nach links auftragen. Wen erinnerte dieses Bild nicht an eine schwingende Latte, die an ihrem unteren Ende festgeklemmt ist? Den elektrischen Spannungen entsprechen die seitlichen Ausbiegungen der Latte von ihrer Gleichgewichtslage.

Die ganze Schwingung entspricht einer sogenannten stehenden Wellenbewegung. Dies wird uns klar, wenn wir irgendeine Welle betrachten, z. B. eine solche, die wir an einem ausgespannten Seil erzeugen. Wäre dasselbe unendlich lang, so würde jede Erschütterung des Anfangs in Form einer Welle am Seil dahinlaufen. Nehmen wir eine begrenzte Länge; die hineilende Welle wird jetzt am Ende reflektiert, sie läuft zurück und wir erhalten das Phänomen einer stehenden Welle. Jedes Seilteilchen erfährt von der hineilenden Welle Ausbauchungen nach oben und unten, ebenso von der reflektierten, an einzelnen Stellen verstärken sie sich, weil sie gleichgerichtet sind, an anderen erfahren sie eine Schwächung, weil sie gegeneinander wirken. Es gibt Stellen, wo sie gleich und entgegengesetzt gerichtet sind, dort bleibt das Seilteilchen in Ruhe. Man nennt diese Stellen die Knotenpunkte, die Stellen stärkster Ausbiegung dagegen die Bäuche. Die Entfernung zweier Knotenpunkte (Fig. 119, Fig. XXXVIII) gibt uns die halbe Wellenlänge. Greifen wir nun einen Abschnitt AB heraus, so sehen wir sofort die Übereinstimmung mit der schwingenden Latte; wir erkennen, daß sie in einer stehenden Viertelwelle schwingt. Dies zeigt uns die Möglichkeit, den Begriff der stehenden

Digitized by Google

Welle auch auf den elektrischen Schwingungszustand eines Drahtes zu übertragen. Unten an der Erde, d. h. an der leitenden Fläche, haben wir den Knotenpunkt der elektrischen Spannung, oben den Bauch. Umgekehrt verhält sich die Schwingung der Strömung, sie hat oben den Knoten und unten den Bauch.

Der sich zur Erde entladende Draht ist von elektrischen Pulsationen durchzuckt, die im stetigen Wechsel ihre Richtung umkehren. Der umgebende Raum wird dadurch magnetisch erregt, d. h. es werden magnetische Wirbel rund um den Draht hervorgerufen, die ihre Stärke und Richtung im gleichen Tempo ändern. Legen wir durch den schwingenden Draht an irgendeiner Stelle eine horizontale Ebene und tragen wir die rechtwinklig zum Strom schwingende magnetische Kraft nicht in der Ebene selber, sondern als Senkrechte auf, so nimmt diese Linie zu und ab. Bei Stromumkehrungen ändert auch die Kraft ihre Richtung, wir tragen sie im Bilde nach unten auf. An jeder Stelle der Ebene schwankt also die magnetische Kraft hin und her. Werfen wir auf eine ruhende Wasserfläche einen Stein, so entstehen ringförmige Wellen, die sich mit einer gewissen Geschwindigkeit ausbreiten. Genau so verhalten sich die magnetischen Wellen, von denen uns Heinrich Hertz gezeigt hat, daß sie mit Lichtgeschwindigkeit, 300000 km in einer Sekunde, ihre Radien vergrößern. Treffen sie nun auf ihrem Wege ein Hindernis, etwa einen Draht, so werden sie zum Teil dort zurückgeworfen, zugleich bilden sich im Drahte stehende Wellen aus. Die Intensität des Wellenschlages hängt von dem erzeugenden Strom ab, in den weiter unten liegenden Horizontalebenen entstehen also stärkere Wellen als in den oberen, deshalb zeigt der Auffangedraht die gleiche Verteilung der Stromstärke wie der Sendedraht. Die elektrischen Spannungen verhalten sich umgekehrt, sie sind oben am stärksten. Die leitende Fläche oder die Erde, welche wir bei den bisherigen Betrachtungen dem schwingenden Draht gegenübergestellt haben, ist wie ein Reservoir zu betrachten, welches die im Funken übertretende elektrische Eigenschaft aufnimmt, um sie beim Zurückschwingen dem Drahte wieder mitzuteilen. Wir können sie auch ersetzen durch einen gleich langen Draht. Für

Digitized by Google

Versuche im Zimmer ist dies zu empfehlen, da wir isolierte Drähte leichter ausspannen können als größere leitende Flächen. Dort hinten im Saale ist ein solcher Draht mit isolierenden Fäden zwischen den gegenüberliegenden Wänden gehalten. In der Mitte ist er metallisch unterbrochen. Laden wir ihn mit hochgespannter Elektrizität, bis der Funke sich bildet, so pendelt die Spannung entsprechend der Winkelbreite zwischen den punktierten Linien der Fig. 120, XXXVIII. Der gesamte Draht schwingt jetzt in einer stehenden halben Welle. Hier vorn ist ein Auffangedraht von gleicher Länge gespannt, aber nicht unterbrochen in der Mitte, er nimmt unter dem Einfluß der heranflutenden magnetischen Wellen die gleiche Spannungsverteilung an. Nähere ich meinen Finger dem freien Ende, so sehe ich kleine Funken übersprühen und fühle ihr leichtes Prickeln. Ich will sie allen sichtbar machen, indem ich sie benutze, um eine stärkere elektrische Kraft auszulösen. Eine Bogenlampe ist zu diesem Zwecke dort aufgestellt, die Kohlen sind durch einen kleinen Zwischenraum getrennt. Trotz ihrer Verbindung mit den Polen einer starken Batterie kann ein Strom nicht übertreten, weil die Spannung der Batterie zu gering ist, um den Zwischenraum durch einen Funken zu überbrücken. Erzeuge ich aber Schwingungen, so erhöhe ich damit die elektrische Spannung an den Kohlen um mehr als das Tausendfache, die Schwingungsfunken spritzen nun über, und die hoch erhitzte Luftbahn der Funken bildet eine Brücke für den Übertritt des Batteriestromes. Diesen Moment zeigt uns das Aufleuchten blendenden Lichtes. Der Strom der Schwingungsfunken wäre zu gering, um die Lampe zum Leuchten zu bringen: er holt sich gleichsam Vorspann aus der Batterie. Mit solcher Einrichtung können wir aber noch nicht telegraphieren, denn wollte man die Punkte und Striche des Morsealphabets durch kürzeres und längeres Leuchten der Lampe hervorrufen, so müßte erst noch ein Mittel erfunden werden, um das Funktionieren der Lampe vom Sendeort aus auch wieder zu unterbrechen. Eine selbsttätige Unterbrechung hat der verstorbene russische Professor Popoff erfunden. Diese Erfindung hat die drahtlose Telegraphie in ihren Anfangsstadien ermöglicht.

Ich habe hier im Modelle eine solche Telegraphiereinrichtung

Digitized by Google

aufgestellt (Fig. 121a, XXXIX und 121b, XL), welche ein drahtloses Korrespondieren von einer Ecke des Saales zur andern ermöglicht, bei entsprechender Vergrößerung könnten wir damit meilenweit telegraphieren. Fig. 122, XLI zeigt uns die verwandten Fritter.

Das war die einfache Methode, nach welcher Marconi im Jahre 1897 seine ersten epochemachenden Telegraphierversuche vornahm. Er überbrückte damals allerdings nur wenige Kilometer. Wir wissen heute weshalb, denn wichtige Eigenschaften der elektrischen Schwingungen waren damals der Technik noch unbekannt. Ihre volle Beherrschung gelang erst durch die wissenschaftliche Vertiefung, welche der Funkentelegraphie seitdem zuteil wurde. Eine große Zahl von Forschern ist daran beteiligt, so daß es nicht richtig wäre, den erzielten Fortschritt an vereinzelte Namen zu knüpfen; nur eines dürfen wir mit Sicherheit behaupten: der größte Teil dieser Arbeit wurde in Deutschland geleistet. Ein neuer Beweis dafür, daß die reichen Mittel, welche deutsche Regierungen und Parlamente für das wissenschaftliche Studium technischer Prozesse bereitzustellen gewohnt sind, nicht ohne Nutzen verbleiben.

Zwei wichtige Eigenschaften der Schwingungen sind es, deren Kenntnis erst die volle technische Beherrschung ermöglichte, wir nennen sie Resonanz und Dämpfung.

Der Begriff der Resonanz ist, wie schon der Name besagt, aus der Akustik übernommen. Die Tonhöhe, welche eine Stimmgabel liefert, entspricht der Anzahl der Vibrationen in einer Sekunde, es ist die Eigenschwingung der Gabel. Statt durch einen Schlag oder den Strich eines Violinbogens, kann die Gabel auch durch geringe Impulse etwa durch Lufterschütterungen in Schwingung gesetzt werden. Das Experiment gelingt aber nur, wenn das Tempo dieser Erschütterungen der Eigenschwingung der Gabel entspricht. Ich schlage hier eine zweite gleiche Stimmgabel an und unterdrücke dann ihre Eigenschwingungen, indem ich sie festhalte (Fig. 123, XLI). Sie hören trotzdem noch den Ton, er rührt aber jetzt von der ersten Gabel her, welche durch die Lufterschütterungen zum Mitschwingen veranlaßt ist. Hebe ich die Resonanz auf, indem ich die Gabel durch Befestigung eines kleinen Zusatzgewichtes

Digitized by Google

verstimme, so findet, wie Sie hören, die Übertragung nicht mehr statt.

Eine belastete Spiralfeder (Fig. 124, XLI) zeigt uns die Eigenschaft der Resonanz besonders deutlich. Setzen wir sie durch einmalige Störung ihrer Gleichgewichtslage in Bewegung, so nehmen Sie ihre Eigenschwingung wahr. Es sei nun die Aufgabe gestellt, die Feder durch Mitteilung kleiner Impulse zum intensivsten Schwingen zu bringen. Ich führe zu diesem Zweck mit einem Bleistift einen sanften Schlag gegen die angehängte Schale. Klopfe ich schnell, so bewegt sich die Feder kaum, sie zittert nur leise; bei ganz langsamem Tempo ist ebensowenig zu erreichen, klopfe ich aber im Tempo der Eigenschwingung, so sehen Sie die belastende Schale immer stärker auf- und niedertanzen. Trotz der geringen Stärke jedes einzelnen Schlages können wir die Schwingung bis zum Bruch der Feder steigern. Welch große Kraftanstrengung gehört dazu, um eine Kirchenglocke so weit aus ihrer Gleichgewichtslage zu bringen, daß der Klöppel dagegen schlägt; doch kann ein Kind die Glocke läuten, wenn es mit seiner schwachen Kraft im Tempo der Eigenschwingung am Seile zieht.

Alle elastischen Körper zeigen die Resonanz, ihre Gewalt kann unter Umständen verhängnisvoll werden. Truppenkörper dürfen eine Brücke nicht im Gleichtritt des Marsches passieren. Das Tempo könnte mit der Eigenschwingung der Brücke zusammenfallen und sie gefährden. Wie verheerend wirkt manchmal der Windbruch im Forst; kommen die Windstöße nur für kurze Zeit im Tempo der pendelnden Baumbewegung, so knicken sie den stärksten Riesen wie einen Strohhalm.

Betrachten Sie diesen schweren eichenen Tisch (Fig. 125, XLII), er kann zwei Arten von Schwingungen annehmen, nämlich zunächst um die Stützpunkte seiner Füße, sodann kann die Platte federn wie eine festgespannte Membran. Die Eigenschwingungen haben verschiedene Frequenz, ich will Erschütterungen erzeugen, so daß die Bewegung weithin sichtbar wird. Auf dem Tisch steht ein durch Elektrizität betriebener Motor, dessen Welle exzentrisch belastet ist. Durch die Zentrifugalkraft desselben erfährt der Tisch Zerrungen nach beiden Schwingungsrichtungen. Bei einem be-

Digitized by Google

stimmten Tempo, d. h. bei einer bestimmten Umlaufgeschwindigkeit des Elektromotors kommt die Tischplatte und der ganze Tisch in lebhafte Horizontalschwingungen um die Fußpunkte der Tischbeine. Bei größerer Geschwindigkeit wird die Frequenz der Tischplatte allein erreicht, sie schwingt wie eine am Umfang befestigte Membran, ähnlich wie die Schallplatte eines Telephons. Zwischen den beiden kritischen Geschwindigkeiten, sowie vorher und nachher, verharrt der schwere Tisch in fast vollkommener Ruhe. Ein mit dem Elektromotor verbundener Tourenzähler zeigt zugleich, daß bei Erreichung einer kritischen Frequenz die Zufuhr elektrischer Energie in ziemlich beträchtlichem Maße gesteigert werden kann, ohne daß eine Beschleunigung des Elektromotors eintritt. Die vermehrte Energiezufuhr dient lediglich zur Steigerung der Schwingungsenergie, bis schließlich die Tourenzahl mit einem Sprung zunimmt und der Tisch wieder zur Ruhe kommt. Jede umlaufende Maschine hat demnach mindestens eine kritische Geschwindigkeit, bei welcher ein ansehnlicher Teil der Gesamtenergie sich in Schwingungen der Fundamente umsetzt und zur Lockerung derselben führt. Der Ingenieur hat also sorgfältig die Ausbalanzierung aller rotierenden Maschinenteile zu beachten oder, wenn dies nicht möglich, Geschwindigkeiten zu wählen, welche von den Eigenschwingungen der gesamten Maschine mit ihren Fundamenten tunlichst weit entfernt bleiben.

Bei den seinerzeitigen elektrischen Schnellbahnversuchen schwappten gefüllte Wassergläser auf den Tischen nur bei bestimmter Geschwindigkeit über; die Eigenschwingung des federnden Wagens stand dabei in Resonanz mit den Schienenstößen auf die Räder. So könnte ich die Beispiele noch zahlreich vermehren. Nur noch eines, weil es besonders verhängnisvolle Wirkungen der Resonanz zeigt: ein Wellenbruch auf der „Deutschland" wurde durch die Torsionsschwingungen der Welle verursacht, die in Resonanz kamen mit den vom Hubwechsel der Dampfmaschinen herrührenden Stößen.

Ein gewöhnlicher mechanisch angetriebener Umdrehungszähler läßt sich für den Versuch nicht verwenden, da er infolge der Erschütterungen nicht regelmäßig genug funktionieren würde.

Digitized by Google

Geeignet ist dagegen der neue Ferntourenzähler von Frahm, der gleichfalls auf dem Prinzip der Resonanz beruht (Fig. 126, XLII). Auf die Welle, deren Tourenzahl gemessen werden soll, ist ein kleines eisernes Rad mit vorspringenden breiten Zähnen gekeilt und dicht an die Peripherie desselben ein Elektromagnet mit magnetischem Kern gerückt. Durch den Vorübergang der einzelnen Zähne vor den Polen des Elektromagneten werden in den Windungen derselben kurze Stromstöße hervorgerufen, deren Frequenz von der Rotationsgeschwindigkeit der Welle abhängt. Die so erzeugten pulsierenden Ströme werden durch eine Leitung auf den beliebig weit entfernten Tourenzähler übertragen. In diesem ist ein anderer Elektromagnet angeordnet, dessen magnetische Kraft durch die Stromstöße sich in stetigem Wechsel ändert und auf einen um eine horizontale Achse federnden eisernen Kamm einwirkt. Den Strompulsationen entsprechend wird dieser ganze Kamm in geringe Erschütterungen von gleicher Frequenz versetzt. Durch eine geistvoll erdachte Einrichtung werden die Erschütterungen nun an einer bestimmten, der Frequenz entsprechenden Stelle sichtbar gemacht. Die einzelnen Zähne des Kammes sind nämlich ähnlich wie die Metallzungen einer Spieldose von verschiedener Länge und besitzen infolgedessen verschiedene Eigenschwingungsfrequenzen. Wird nun der ganze Kamm mit einer beliebigen Frequenz erschüttert, so kommt doch nur diejenige Metallzunge in lebhaftere Bewegung, deren Eigenfrequenz damit übereinstimmt. Das umgebogene weiß gestrichene Ende der Zunge liefert bei der Schwingung einen deutlichen hellen Strich und läßt an der Marke der daneben befindlichen Teilung die Tourenzahl des Motors erkennen.

Die elektrischen Schwingungen befolgen die gleichen Gesetze der Resonanz. Erzeugen wir elektrische Schwingungen nach der einfachsten Methode mit Hilfe einer Kleistschen Flasche. Eine Glasplatte mit Metallbelegungen auf beiden Seiten leistet dasselbe. Wir wollen sie mit Drähten verbinden, deren Enden sich nicht berühren, sondern einen kleinen Luftraum zwischen sich lassen. Wir laden die eine Belegung, indem wir Hochspannung zuführen, oder wirkungsvoller, wenn wir zugleich die andere

Digitized by Google

Belegung auf Unterspannung bringen. Die kleinen Kugeln an der Unterbrecherstelle nehmen die gleichen Spannungsdifferenzen an; erreichen sie eine gewisse Größe, so entladen sich die Belegungen durch den Funken und elektrische Schwingungen durchzucken nunmehr den geschlossenen Kreis. Die Forschung hat schon vor 50 Jahren gezeigt, daß die Frequenz dieser Schwingungen nur von zwei Größen abhängt: von der Aufnahmefähigkeit oder Kapazität der Flasche und von Länge und Form des den Kreis bildenden Drahtes, der sogenannten Selbstinduktion desselben. Beide Größen sind der Messung und Rechnung zugänglich. Die Schwingungsfrequenz ist stets durch ihr Produkt bestimmt, wir wollen dasselbe die Schwingungsgröße nennen. Hieraus folgt, daß ein zweiter ähnlicher Kreis dieselbe Eigenfrequenz haben muß, wenn seine Schwingungsgröße die gleiche ist.

Hier stehen zwei solche Kreise nebeneinander (Fig. 127, XLV), in dem einen befinden sich zwei Kleistsche Flaschen, ein kurzer Drahtbügel führt zur Funkenstrecke, die in einem geschlossenen Ebonitkästchen untergebracht ist, um den grellen Funkenschein zu verdecken. In dem zweiten vorderen Kreis haben wir nur eine Flasche, also nur eine halb so große Kapazität, der Drahtbügel, welcher die Belegungen verbindet, ist länger und kann durch Verschieben eines Gleitdrahtes beliebig verlängert werden. Wollen wir den zweiten Kreis in elektrische Resonanz bringen mit dem ersten, so müßte der Drahtbügel etwa doppelt so lang sein wie bei jenem, denn die Kapazität ist nur halb so groß. Das pulsierende Magnetfeld des ersten Kreises, durch die Entladung der Flasche erregt, bewirkt nun in dem zweiten Kreis bei vorhandener Resonanz so lebhafte Schwingungen, daß die Flasche sich ladet und zwischen den beiden Belegungen, die durch einen über den Rand des Glases reichenden Bügel genähert sind, ein Funkensprühen erzeugt wird, gleichsam ein Überlaufen der Flasche. Der Versuch zeigt uns, daß dies aber nur gelingt bei einer bestimmten Länge des verbindenden Bügels. Das Experiment entspricht also völlig dem früheren Stimmgabelversuch.

Um zu zeigen, daß es tatsächlich auf die Gleichheit der Produkte ankommt, will ich eine Resonanzerscheinung hervor-

Digitized by Google

rufen, bei der sich die Kapazitäten etwa wie 10000 zu 1 und die Selbstinduktionen umgekehrt verhalten.

Hier ist mit einer großen Flaschenbatterie ein Schwingungskreis aufgebaut und durch kurzen Bügel geschlossen. Wir verbinden damit eine Drahtspule von geringer Kapazität aber enormer Selbstinduktion, denn der aufgewickelte Draht ist lang (Fig. 128, XLIII). Durch geringe Regulierung der Drahtlänge des geschlossenen Kreises wollen wir Gleichheit der Schwingungsgrößen erzeugen. Die eingetretene Resonanz zeigt sich durch starke Funkenstrahlung der Spule an. Sehr erklärlich: denn ihre Kapazität ist so klein, daß sie die schwingende Elektrizität nicht fassen kann, es findet ein Überlaufen in den Raum statt unter enormem Druck, es ist ähnlich wie das Aufspritzen einer Fontäne. Ich habe den Versuch nur in bescheidenen Dimensionen gezeigt, Nikola Tesla hat nach demselben Verfahren erstaunliche Wirkungen erzeugt in seinem hoch oben in den Colorado-Bergen erbauten Laboratorium. Die Photographien, welche er mir in freundschaftlicher Gesinnung zugeeignet hat, zeigen künstliche Blitze von 4 m Länge (Fig. 129, XLIV).

Ziehen wir die Nutzanwendung aus diesen Erscheinungen für die drahtlose Telegraphie. In der alten Anordnung Marconis schwingt der Sendedraht in einer Viertelwelle, ein gleich langer Auffangedraht, an dessen unterem Ende ein Fritter sitzt, der in unbestrahltem Zustand die Verbindung mit der Erde unterbricht, kann nur in einer halben Welle schwingen, die Wellen verhalten sich also wie 1 zu 2 (Fig. 130, XLVII). Es ist keine völlige Resonanz, man müßte den Auffangedraht doppelt so lang machen wie den Sendedraht, das verbieten technische Schwierigkeiten. Im Jahre 1900 gelang ein an sich einfacher, aber für den Fortschritt der drahtlosen Telegraphie entscheidender Schritt. Durch Hinzufügung eines horizontalen Verlängerungsdrahtes von einer Viertelwellenlänge wurde Resonanz erzwungen bei gleicher Länge des Auffangedrahtes. Es konnte ferner gezeigt werden, daß ein und derselbe Auffangedraht auch für andere Wellenlängen in Resonanz zu bringen war, wenn man die Gesamtlänge, d. h. Auffangedraht plus Verlängerungsdraht gleich der halben Wellenlänge machte

Digitized by Google

(Fig. 131, XLVII). Der Verlängerungsdraht nahm später die Form einer Spule an und bildete mit dem Fritter und der doppelten Erdung einen geschlossenen Kreis, in welchem Fritterkapazität und Selbstinduktion so bemessen wurden, daß die Schwingungsgrößen des geschlossenen Kreises einerseits und des geerdeten Auffangedrahtes anderseits gleich wurden, d. h. völlige Resonanz besaßen. Am 22. Dezember 1900 konnte das entscheidende Experiment in Gegenwart des Kaisers zum ersten Male mit völligem Erfolg gezeigt werden. Mit einem und demselben Auffangedraht wurden zwei Telegramme von verschiedenen Orten mit verschiedenen Wellenlängen zugleich aufgenommen (Fig. 132, XLVII). Marconi behauptete später, ein ähnliches Experiment von der Insel Wight aus vorgenommen zu haben. Die Mitteilung seiner Methode hat er aber damals unterlassen.

Das Problem der mehrfachen Telegraphie und zugleich die Abstimmung einer Empfangsstation auf verschiedene Wellen war damit technisch gelöst. Die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, Berlin, weltbekannt unter dem Namen „Telefunken", hat dieses Verfahren unter Zufügung von anderen sinnreichen Erfindungen auf einen hohen Grad technischer Vollkommenheit gebracht.

Die vertiefte wissenschaftliche Behandlung der Funkentelegraphie machte die Erfindung von Instrumenten nötig, um die Größe der erzeugten elektrischen Wellenlängen bequem und exakt zu messen. Auch dies gelang unter Anwendung des Resonanzprinzips. Von den vielen heute in Gebrauch befindlichen Wellenmessern will ich den ersten erläutern. Dieser kleine Stab, den ich in den Händen halte, zeigt mir die Wellenlänge an, sobald ich mich einem elektrischen Schwingungskreise damit nähere (Fig. 133, XLV). Ich habe ihn Multiplikator genannt, weil die zahlreichen Windungen aus feinstem Draht, die auf ein Glasrohr gewickelt sind, bei erreichter Abstimmung auf die Frequenz der auffallenden Schwingungen, die elektrische Spannung in ebenso starkem Maße erhöhen, gleichsam multiplizieren, wie die vorhin gezeigte strahlende Spule. Dort war das untere Ende angeschlossen an die starke Kapazität der

Digitized by Google

Kleistschen Flasche, durch deren Entladung wir die elektrische Spannung erzeugten. Hier dient dazu mein eigener Körper, den ich anschalte, indem ich mit den Spitzen zweier Finger die dünne Spule umfasse. Gegenüber den minimalen Strömen, welche den dünnen Draht durchzucken, ist die Kapazität meines Körpers ausreichend, um an der Berührungsstelle einen Knotenpunkt der schwingenden Spannung zu erzeugen. Durch Hin- und Herfahren meiner Finger verlege ich den Knotenpunkt, bis die darüber liegenden Windungen auf die Frequenz der Schwingungen abgestimmt sind. In diesem Augenblick sprüht die freie Spitze des Drahtes am oberen Ende des Stabes ein elektrisches Büschellicht aus, zwar nicht so gewaltig wie die meterlangen züngelnden Blitze der großen Resonanzspule, dessen Leuchtkraft ich aber verstärken kann durch Unterlegen eines Blättchens Papier, das mit Kristallen von Bariumplatincyanür bedeckt ist. Das winzige Büschellicht breitet sich dadurch aus zu einer intensiven grünlich leuchtenden Fackel, die von allen Plätzen des Saales deutlich erkennbar ist. Der Stab ist geeicht und an der Stelle, wo meine Finger die Spule berühren, lese ich die Wellenlänge ab. Messen wir jetzt die Wellenlänge der Schwingungen, von denen die große sprühende Spule durchzuckt wird — es sind 800 Meter. Schon das Gefühl zeigt mir die richtige Einstellung auf Resonanz: meine Finger verspüren ein deutliches Prickeln, das zunimmt, wenn ich mich der großen Spule nähere. Zwei Meter davon entfernt wird es so unangenehm, daß ich mit meinen gleitenden Fingern die Resonanzlage verlassen muß. Ich habe hierbei die Einstellung auf eine stehende Viertelwellenlänge der Schwingung vorgenommen.

Ebenso wie ich ein erschüttertes Seil in mehrfachen Wellenlängen, d. h. mit einer Anzahl von Knoten und Bäuchen zum Schwingen bringen kann, gelingt dies auch beim Multiplikator. Hier habe ich einen Multiplikationsstab von ansehnlicher Länge aufgestellt, der die mehrfachen Spannungsbäuche durch das Sprühen von kleinen Kupferdrähten anzeigt, die quer zur Längsrichtung der Spule auf einer dünnen Holzplatte befestigt sind. Im verdunkelten Saal erkennen wir jetzt die Resonanz für 1, 3 und 5fache Viertelwellenlängen (Fig. 134 a, b und c, XLVI). Die elektrischen

Digitized by Google

Schwingungen, die von der Spule ausgehend den ganzen Raum erfüllen, haben wir hierdurch sichtbar gemacht und ihre Wellenlänge gemessen. Vergessen wir nicht, was Wellenlänge bedeutet: es ist dies die Wegstrecke, um die die Wellen während der Dauer einer vollen Schwingung fortgewandert sind. Da auf eine Sekunde 300000 km entfallen, kommt z. B. auf ein Kilometer die Zeitdauer von $\frac{1}{300000}$ Sekunde, d. h. eine Frequenz von 300000.

Ein weiterer Fortschritt gegenüber der Erfindung Marconis ist durch sorgfältige Beachtung der sogenannten Dämpfungserscheinung erzielt worden. Wenn wir Schwingungen durch rein mechanische Mittel erzeugen, etwa durch eine Wechselstromdynamomaschine, so erhalten wir Stromschwingungen, welche sich mit unverminderter Stärke beliebig oft wiederholen lassen (Fig. 135, XLVII).

Anders ist es mit den schnellen Schwingungen, die durch Funkenentladung einer Kapazität erzeugt werden, das sind diejenigen, mit denen wir bei der Funkentelegraphie zu tun haben (Fig. 136, XLVII). Die Intensität der Schwingung nimmt dabei kontinuierlich ab, weil zwei Verluste von verschiedener Art auftreten.

Der erste bezieht sich auf die Erwärmung der Drahtmasse, welche die Schwingungsströme an der Sendestation durcheilen. Schon am Eingang der Vorlesung zeigte ich, daß jeder Draht der vom Strom durchflossen wird, sich erwärmt. Diese Wärme strahlt aus und ist für die periodische Wiederkehr der Stromschwingungen vergeudet. Die stärksten Verluste treten in der hocherhitzten Funkenstrecke auf. Hierdurch ist bedingt, daß die Schwingungen in ihrer Intensität ununterbrochen abnehmen. Der Wellenschlag in dem umgebenden Raum erstirbt schnell zu so minimalen Wallungen, daß Kraftwirkungen im Empfänger damit nicht mehr ausgeübt werden können.

Ein zweiter Verlust hat eine wesentlich andere Bedeutung. Die Erregung des magnetischen Wellenschlages im Raume bedingt einen Kraftaufwand des elektrischen Stromes. Je stärker also ein Sender Fernwirkungsenergie ausstraht, desto schneller nimmt die Intensität der Schwingungen ab.

Digitized by Google

Man bezeichnet diese Abnahme als Dämpfung der Schwingung, und zwar die erste als Widerstandsdämpfung, die letztere als Strahlungsdämpfung. Beide erfahren in der heutigen Funkentelegraphie eine sorgfältige gesonderte Berücksichtigung.

Was zunächst die Widerstandsdämpfung betrifft, so ist ohne weiteres klar, daß dieselbe auf das geringste Maß herabgedrückt werden muß. Bei jeder motorischen Maschine, und als solche können wir auch den Sender der Funkentelegraphie betrachten, muß die innere Reibung und die davon herrührende sogenannte Leerlaufarbeit so weit wie möglich beschränkt werden. Durch sorgfältigste Arbeit der beweglichen Teile und durch reichliche Schmierung suchen wir z. B. bei der Dampfmaschine diese für die Nutzleistung verloren gehende Arbeit zu vermindern. In ganz ähnlicher Weise können wir die Erfindung deuten, welche zu einer wesentlichen Beschränkung der Widerstandsdämpfung geführt hat. Die Forschung hat gezeigt, daß der schädliche Widerstand einer Funkenstrecke, und um diese handelt es sich hauptsächlich, desto kleiner wird, je größer der pulsierende Strom ist. Eine Verstärkung des Schwingungsstromes in der Funkenstrecke kann man nun erzeugen, indem man einen zweiten starken Strom, der an der Fernwirkung unbeteiligt bleibt, darüber lagert. Diesen erzeugt man, indem man die Funkenstrecke außer an das Schwingungsgebilde an einen geschlossenen Kreis schaltet, der mit großer Kapazität ausgerüstet ist (Fig. 137, XLVII). Je größer die Kapazität dieses angekoppelten Kreises gewählt wird, desto stärker ist die Stromüberlagerung in der Funkenstrecke, desto geringer ihr Widerstand. Die moderne Funkentelegraphie arbeitet fast nur noch mit diesem Hilfsmittel, welches den Kraftaufwand für den Betrieb einer Telegraphenanlage zwar wesentlich vermehrt, dafür die Dämpfung der ausgestrahlten Schwingung aber wesentlich vermindert hat.

Eine andere Rolle spielt die Strahlungsdämpfung, es sind hierbei zwei Momente zu beachten. Je mehr man die ausgestrahlte Wirkung verstärkt, desto intensiver wird der magnetische Wellenschlag erregt, desto schneller klingt er aber auch ab. Es wäre falsch, wenn man durch geeignete Formgebung der Sendegebilde nur dahin streben wollte, die Intensität der Ausstrahlung zu vermehren,

Digitized by Google

es ist vielmehr hierin ein weises Maß zu halten, damit die Schwingungen nicht zu schnell absterben, denn für die Resonanz des Empfängers ist es immer nur von Vorteil, wenn von der Anzahl der Impulse, welche der Wogenschwall eines einzigen Entladungsfunkens hervorruft, tunlichst viele am Empfangsapparate zur Wirkung kommen können. Ein mechanisches Beispiel wird uns dies klar machen. Wollen wir eine schwere Glocke zum Läuten bringen, so würde ein starker Stoß am Zugseil dies weniger sicher erreichen lassen, als eine große Zahl wiederkehrender kleiner Impulse. Man pflegt heute durch besondere Einrichtungen das Sendegebilde so zu gestalten, daß die Strahlungsdämpfung gewisse Beträge nicht überschreitet.

Der sachgemäßen Anwendung der genannten Gesichtspunkte ist es aber zu danken, daß die Funkentelegraphie in den letzten Jahren ganz erstaunliche Fortschritte gemacht hat, und daß das deutsche System einen gewissen Vorsprung erlangt hat gegenüber den Bestrebungen in anderen Ländern. Während Marconi und seine Mitarbeiter in den ersten Jahren fast ihre ganze Kraft darauf gerichtet haben, immer größere Entfernungen zu überbrücken und demgemäß ihre Stationen zu gewaltigen Kraftanlagen ausgebildet haben, ist es das Ziel der deutschen Bestrebungen gewesen, die Gesetze der drahtlosen Telegraphie immer eingehender zu erforschen und den Kreis ihrer Verwendung durch Ausbildung technisch vollendeter Konstruktionen zu erweitern.

Wenn Sie mir bis hierher mit ihrer freundlichen Aufmerksamkeit gefolgt sind, wird mit Sicherheit eine Frage auf Ihre Lippen treten. Die durch den Raum dahineilenden magnetischen Wellen übertragen unzweifelhaft eine Arbeitsleistung, denn die Wirkung, die an der Empfangsstation sich im Ticken eines Schreibhebels, in dem Rauschen eines Telephons bemerkbar macht, läßt sich in den millionsten Teilen einer Pferdestärke beziffern. Wird es möglich sein, auch größere Arbeitskräfte mit den magnetischen Wellen nach entfernten Stellen des Erdballs zu übertragen? Dieser Gedanke ist ungemein bestrickend und das Gelingen des Planes würde eine Umwälzung in unsern Kulturmitteln hervorrufen, wie sie die glänzendsten Erfindungen des vergangenen Jahrhunderts

Digitized by Google

nicht zur Folge hatten. Der Ingenieur ist gewohnt, eine vorgelegte Frage nicht von vornherein mit einem absoluten Nein zu beantworten, doch können wir eines mit Sicherheit sagen: sollte das Problem jemals der Erfüllung entgegenreifen, dann müßten wohl noch andere Gesetze zu unserer Kenntnis gelangen, über welche die Natur bisher noch dreifache Schleier breitet.

Es ist aber von Interesse, zu erforschen, wie weit es gelingt, mit unseren bisherigen Kenntnissen die Aufgabe praktisch zu lösen. So weit die beschränkten Mittel und die Räume eines Laboratoriums es ermöglichen, habe ich die Frage zu beantworten gesucht. In zielbewußter Ausnutzung aller Gesetze, welche das Studium der Funkentelegraphie erschlossen hat, habe ich versucht, eine nennenswerte, in ihren Wirkungen deutlich erkennbare Arbeitsleistung von der hinteren Wand dieses Saales bis auf den vorderen Tisch drahtlos zu übertragen. Zwischen Drähten, welche Sie hinten erblicken, und den Drahtharfen hier vorne, 9 m entfernt, besteht nicht die geringste metallische Verbindung, dennoch gelingt es, durch Erzeugung starker elektrischer Schwingungen mit Hilfe der Resonanz hier vorn eine elektrische Glühlampe zum vollen Leuchten zu bringen (Fig. 138, XLVII). Um Mißverständnissen vorzubeugen, will ich ausdrücklich darauf hinweisen, daß dieser Versuch nicht verwechselt werden darf mit dem vorher angestellten Zünden einer Bogenlampe. Während ich dort die minimalen Impulse nur dazu benutzte, um eine bereitstehende Arbeitsquelle, eine Batterie, auszulösen und ihren Strom durch eine Lampe zu schicken, werde ich bei dem jetzt folgenden Experimente die gesamte elektrische Arbeit, welche die Lampe zum Leuchten bringt, lediglich den heranwogenden magnetischen Wellen entziehen.

Über die Zukunft wollen wir uns aber keinerlei Optimismus hingeben. Sie werden dies sofort begreifen, wenn ich Ihnen sage, daß die Arbeitskraft, welche ich dort hinten in Schwingung umsetzte, 3 Pferdestärken beträgt und daß das Resultat hier vorne sich darstellt in der bescheidenen Leistung von 1/300 Pferdestärken, also etwa dem 1000. Teil.

Doch: In magnis voluisse sat est.

Digitized by Google

10.

Drahtloses Fernsprechen.

(1907.)

Von allen Erfindungen des elektrischen Zeitalters erscheint das Telephon als eine der merkwürdigsten. Es betätigt zwei wesentliche Organe des Menschen, Stimme und Ohr an dem elektrischen Kreislauf und verkettet dadurch sein geistiges Leben mit den Kräften der Natur. Wenn uns heute, 100 Meilen entfernt, die Stimmen aus der Heimat ins Ohr tönen, so denken wir kaum noch daran, daß es die Wirkung einer dünnen Eisenmembran ist, die von elektrischen Schwingungen erregt, mit den Modulationen der Töne auch die Schwingungen einer Menschenseele uns zuträgt.

In dem Kopfe eines bescheidenen Lehrers einer Knabenschule bei Frankfurt a. M., Philipp Reis, war der geniale Gedanke entsprungen, aber erst auf dem Umwege über Amerika kam er nach Deutschland zurück, um als die Erfindung Graham Bells in seiner vollen praktischen Bedeutung erkannt zu werden.

Jeder elektrische Strom, und sei er noch so winzig, erregt den ganzen umgebenden Raum. Er ruft darin magnetische Kräfte hervor, die sich mit den elektrischen auf das innigste verketten, so daß jede Änderung der einen die anderen sofort in Mitleidenschaft zieht. Ist im Raume Eisen vorhanden, so zeigt sich die Wechselwirkung zwischen den elektrischen und magnetischen Kräften besonders stark. Hier steht ein vom Strom zu erregender Elektromagnet, ein eiserner Kern, welchen die Strombahn in zahlreichen Windungen umschlingt; ich stülpe darüber eine Membran aus weichem unmagnetischen Eisen (Fig. 139, XLVIII), in einem Holzring befestigt. Durch die Nähe des Elektromagneten wird die dünne Eisenplatte selber zu einem Magneten,

Digitized by Google

und zwar mit umgekehrter Polarität; dem Nordpol *N* gegenüber entsteht ein Südpol *S*. Ungleichnamige Pole ziehen sich an; die Membran, welche elastisch ist, wird etwas durchgedrückt — so minimal, daß wir es mit bloßen Augen nicht erkennen. Wir nehmen einen andern menschlichen Sinn noch zu Hilfe. Es ist klar, daß die Membran in die alte Lage zurückkehren muß, wenn wir die magnetische Spannkraft entfernen, indem wir den Elektromagneten stromlos machen. Kehren wir die Richtung des erregenden Stromes um, so wechseln wir damit die Polarität des Elektromagneten. Aus dem früheren Nordpol wird jetzt ein Südpol, die untere Seite der Membran ein Nordpol. Wiederum erfolgt eine geringe Durchbiegung. Nun wollen wir dies in gesetzmäßiger Folge wiederholen, indem wir den Elektromagneten mit einem Strom von wechselnder Richtung, einem sogenannten Wechselstrom, erregen. Die Membran kommt dadurch in Schwingungen, deren sekundliche Zahl den Stromwechseln pro Sekunde entspricht. Die über der Membran ruhende Luftmasse gerät dadurch gleichfalls in gesetzmäßige Schwingungen, die sich ausbreiten, zu unserm Trommelfell gelangen und vermöge des Cortischen Resonanzorgans die Empfindung eines Tones dem Gehirn übermitteln. Da wir 100 Stromwechsel in der Sekunde verwenden, hören wir einen Ton, der 100 Luftschwingungen in der Sekunde entspricht. Wir besitzen hierin also noch ein anderes Mittel, die Tonhöhe sicher festzustellen als unser subjektives Gehör.

Wir können den Ton aber auch sichtbar machen. Ich stülpe über die Membran noch eine Kapsel und schließe sie an die Gasleitung. Aus einer feinen Düse strömt dieses aus und verbrennt mit schwach leuchtender ruhiger Flamme (Fig. 140, XLVIII). Sobald ich aber den Elektromagneten errege, tanzt sie infolge der Stromschwankungen im Rhythmus der Schwingungen. Dies ist nur in der Nähe zu sehen. Betrachten wir aber das Bild der Flamme in einem rotierenden Spiegel (Fig. 141, XLIX), so ziehen wir dasselbe zeitlich auseinander und sehen nun, weithin erkennbar, gleichsam die flammende Notenschrift des Tones. Jedem Klange der menschlichen Sprache entspricht nun ein ganz bestimmtes

Digitized by Google

Flammenbild, ihre Schwingungen also einem charakteristischen Gepräge.

Mit dem Phonographen können wir ähnliche Klangbilder erzeugen. Die Figur 142, XLIX zeigt uns den deutlich ausgesprochenen Schwingungscharakter der Vokale.

Die hohe Empfindlichkeit der elektromagnetischen Kräfte und unserer Sinnesorgane ermöglichen nun die Auf- und Annahme dieses Gepräges und erklären damit die Wirkungsweise des Telephons.

Bei der Aufnahme der Schallschwingungen der Sprache bedienen wir uns einer Umkehrung des angestellten Experiments. Wir sprechen gegen eine federnde Eisenmembran, sie folgt mit ihren Schwingungen den Modulationen unserer Stimme in rein mechanischer Weise. Dahinter befindet sich ein permanenter Stahlmagnet mit isoliertem Draht umwickelt. Die Schwingungen der Eisenmembran beeinflussen nun die magnetische Kraft des Stabes, indem sie dieselbe abwechselnd verstärken und schwächen. Nach dem Prinzip der Dualität, das alle Naturerscheinungen beherrscht, wird aber nicht bloß, wie vorhin erörtert, durch elektrische Stromschwingungen im Eisen eine wechselnde magnetische Kraft erzeugt, sondern auch umgekehrt erzeugt eine wechselnde oder pulsierende magnetische Kraft in Drahtwindungen einen schwingenden oder vibrierenden Strom. Diesen leiten wir durch einen verbindenden Draht zum Empfangsort und erzeugen dort (Fig. 143, XLIX), indem wir den Draht in vielen Windungen um einen eisernen Kern herumführen, pulsierende magnetische Kräfte, die, wie unser Versuch gezeigt, die Schallmembran in Schwingung versetzen. Die Rückleitung der Ströme erfolgt entweder durch die Erde oder, will man Störungen vermeiden, durch eine zweite Leitung. Es ist ein Prozeß von erstaunlicher Präzision und unübertrefflicher Einfachheit, da das gleiche Instrument zum Sprechen wie zum Hören geeignet und eine besondere Stromquelle nicht erforderlich ist.

Es sind ansehnliche, meilenweite Entfernungen, auf welche wir damit die Sprache übertragen können; die erzeugten Ströme sind aber minimal und da sie die metallische Leitung nicht ohne

Digitized by Google

Verlust durchlaufen, da sie für die Benutzung des metallischen Weges gleichsam Chausseegeld in der Münze der Wärmeform zu zahlen haben, denn die Leitung erwärmt sich beim Durchgang der Ströme, also wird ihre Kraft dauernd geschwächt und wir können die Leitung nicht beliebig verlängern. Wir kommen schließlich an eine Grenze, wo die übertragenen Wirkungen zu einem kaum noch vernehmbaren Hauche ersterben. Die elektrischen Pulsationen treffen allzu müde und erschöpft am Ziele der Wanderung ein.

Eine zweite sinnreiche Erfindung, das Mikrophon, hat es nun ermöglicht, die Übertragung der Sprache durch einen Draht auf hundertmal größere Entfernung auszudehnen. Es ist aber kein Ersatz des Telephons, es dient nur als Sprech- oder Sendeapparat; als Hörapparat ist das Telephon nach wie vor unübertroffen.

Der Engländer Hughes machte diese schöne Erfindung beim Studium der Eigenschaften loser Kontakte. In den Stromkreis einer galvanischen Batterie schaltete er eines Tages zwei Stückchen poröser Kohle in loser Berührung (Fig. 144, XLIX). Ein in den gleichen Stromkreis eingeschaltetes Telephon ließ kein Geräusch wahrnehmen, solange der lose Kohlenkontakt ohne jede mechanische Erschütterung verblieb, obwohl ein eingeschaltetes Galvanometer deutlich zeigte, daß durch den losen Kontakt ein Strom überging. Sehr begreiflich, denn der in gleichbleibender Richtung hindurchfließende Batteriestrom ist dem Telephon gänzlich gleichgültig, da es ja nur auf Stromvibrationen reagiert. Jede Erschütterung des Kohlenkontaktes machte sich aber durch ein starkes Geräusch im Telephon bemerkbar. Das Ticken einer daneben gelegten Taschenuhr hörte sich an wie das Hämmern auf einen Amboß, das Kriechen einer Fliege wie das Trampeln eines Elephanten (Fig. 145, LI).

Woher rührt diese merkwürdige Verstärkung des Tones? Lediglich von den mechanischen Erschütterungen, welche der Kohlenkontakt erfährt. Dadurch ändert sich der Übergangswiderstand an der Berührungsstelle und versetzt den hindurch-

Digitized by Google

geführten Gleichstrom in viel stärkere Vibrationen, als es die Schallschwingungen einer Telephonmembran vermögen. Die Batterie wirkt gleichsam wie ein Vorspann.

Die konstruktive Gestaltung des Mikrophons übertrifft das Telephon fast noch an Einfachheit. Auf der Rückseite einer Stahlmembran ist das eine der beiden Kohlenstückchen befestigt. Dagegen lehnt mit geringem Federdruck das zweite Kohlenstück. Die beim Sprechen gegen die Membran entstehenden Druckschwankungen erzeugen Stromvibrationen eines konstanten Gleichstroms und diese wirken auf das Telephon in der alten Weise, bloß intensiver.

Das Mikrophon ermöglicht den elektrischen Pulsationen eine weitere Reise durch Mitgabe stärkerer elektrischer Energie. Die zarten Schwingungen der Sprache werden auf einen stärkeren Strom übertragen, sie werden gleichsam auf ein Flugzeug gesetzt, auf dem sie unter Vermeidung der erschöpfenden Wanderfahrt sicher zum Ziel getragen werden. Unser Bild muß schon ein Flugzeug vorsehen, denn die Reisegeschwindigkeit ist eine sehr große — 300000 Kilometer in der Sekunde.

Von der erreichten Tonverstärkung soll uns ein Experiment überzeugen. In einem entfernten Raum dieses Gebäudes ist ein Mikrophon aufgestellt, hier ist das Empfangstelephon. Wir brauchen nicht mehr das Ohr dicht an die Schallöffnung zu bringen, wir hören die in das Mikrophon gesprochenen Worte jetzt deutlich im ganzen Saal.

Das Telephon könnten wir zur Not auch entbehren und durch andere Mittel ersetzen, welche die aus dem Mikrophon stammenden Strompulsationen wieder in Schallschwingungen umsetzen, z. B. die Zuckungen der Flamme.

Eine durch Gleichstrom gespeiste Bogenlampe steht vor Ihnen (Fig. 146, L). In mächtiger Fülle durchströmt er die Leitungen und bildet beim Übergang zwischen den beiden Kohlenstäben den lichtspendenden Flammenbogen. Diesen Strom störe ich, wenn ich die Schwingungen eines Mikrophonstromes darüber lagere. Die breite Flut des Gleichstroms erfährt dadurch zitternde Schwankungen, es ist, als ob die feine Flaumfeder eines Vogels

Digitized by Google

auf die stille Wasserfläche eines Teiches gefallen wäre. In der Flamme des Lichtbogens tritt diese leichte Kräuselung zutage. Die fast unmerklichen Schwingungen des Stromes bewirken Zuckungen der Flamme und die dadurch hervorgerufene Erzitterung der Luft trägt sie als Töne in unser Ohr.

Erstaunlich ist die Gesetzmäßigkeit, mit welcher sich die Paarung der in ihrer Größe so unendlich verschiedenen elektrischen Kräfte vollzieht. Über die Bedeutung des Mikrophon-Telephons für unser gesamtes heutiges Leben brauche ich kein Wort zu verlieren. Man denke sich dasselbe wieder aus unserer Kultur entfernt — welch schwere Lücke würden wir empfinden! Wir würden es aber wahrscheinlich bald durch andere vielleicht noch bessere Erfindungen ersetzen.

Indessen auch ohne dringendes Bedürfnis ist der menschliche Erfindungstrieb ruhelos. Kaum hatte die drahtlose Telegraphie ihre ersten Triumphe gefeiert, da erwog man schon die Möglichkeit einer drahtlosen Telephonie.

Die Erzeugung von elektrischen Schwingungen des Äthers direkt durch die menschliche Stimme, Schwingungen, welche alle Modulationen derselben getreulich annehmen und wiedergeben, erwies sich als aussichtslos. Die in den Schallschwingungen zur Verfügung stehende Energie ist dafür nicht ausreichend. Bei der Telephonie mit Leitungsdraht bildet der Draht gleichsam eine Rinne, in welcher die elektrischen Schwingungen zusammengehalten und mit geringem Verlust bis an die Aufnahmestelle getragen werden. Bei drahtloser elektrischer Übertragung verteilt sich dagegen die erzeugte Schwingungsenergie durch den ganzen Raum. Freilich werden dadurch viele Empfänger gleichzeitig der Mitteilungen eines Senders teilhaftig.

Die Mikrophon-Telephonie gab aber einen Fingerzeig zur Lösung der Aufgabe. Man mußte ein Vehikel schaffen, dem die elektrisch umgewandelten Tonschwingungen des Mikrophons aufgelagert werden konnten. Gelang es, mit starken elektrischen Kräften andauernde Ätherschwingungen von größter Tragweite zu erzeugen, so erschien es wohl möglich, diesen Schwingungen die feinen charakteristischen Merkmale der Mikrophon-

Digitized by Google

schwingungen aufzuprägen und diese am Empfangsort mit Hilfe eines empfindlichen Telephons zu erkennen. Eine Unvollkommenheit des menschlichen Ohres kommt der Ausführung dieses Planes zu Hilfe. Schallschwingungen von großer Schnelligkeit vermag das Trommelfell nicht mehr zu registrieren und an das Gehirn weiter zu geben. 20000 Schwingungen in einer Sekunde bilden die äußerste Grenze. Die Nerven des Ohres sind allzu träge. Ähnlich ist es mit dem Auge; die überaus schnellen Schwingungen des ultravioletten Lichtes nimmt der Sehnerv nicht mehr wahr. Die Grenze ist hier bei 800 Billionen Schwingungen des Äthers in der Sekunde erreicht. 20000 Schwingungen der Luft lassen für uns die Welt verstummen, 800 Billionen Ätherschwingungen tauchen sie in Dunkelheit. Wieviel empfindlicher ist daher das Auge des Menschen im Vergleich zum Ohr! Und doch hat das Ohr eine Begabung anderer Art, die dem Auge fehlt. Aus dem Tongewirr eines Orchesters vernehmen wir deutlich die eigenartigen Klangfarben der Violinen, der Flöten und Pauken. Das Ohr hat also die Fähigkeit, zusammengesetzte Töne zu analysieren. Die vielfarbigen Strahlen des Sonnenlichts dagegen vermag das Auge nicht wahrzunehmen, erst durch das Hilfsmittel des Prismas gelingt die Zerlegung.

Betrachten wir nun die Ätherschwingungen, welche die Funkentelegraphie verwendet. Wir laden dabei einen isoliert aufgehängten Draht, der an seinem unteren Ende eine kleine Metallkugel trägt, mit Elektrizität (Fig. 116, XXXVIII). In geringem Abstande von dieser ersten Kugel befindet sich eine zweite, die mit der Erde verbunden ist. Erreicht die elektrische Spannung eine bestimmte Höhe, so erfolgt eine Entladung des Drahtes zur Erde. Es ist ähnlich wie bei einem völlig geschlossenen Wasserschlauch, den wir mit Druckwasser füllen. Bei Überschreitung eines gewissen Druckes platzt derselbe und das Wasser spritzt gegen die Erde aus. Der elektrische Draht platzt hier unten und spritzt die Ladung an den Funkenkugeln aus, sobald die Spannkraft der Elektrizität eine bestimmte Größe erreicht hat. Die Entladung ist von einer Funkenerscheinung begleitet, deren intensives Licht von mitgerissenen glühenden Metallfetzen und Dämpfen herrührt.

Digitized by Google

Die sich entladende Elektrizität hat aber eine elastische Eigenschaft. Lösen wir eine gespannte Feder, so schießt sie stets über die Ruhelage hinaus, sie pendelt hin und her und kommt erst nach einigen Schwingungen zur Ruhe. So pendelt auch der Entladungsstrom hin und her; er schießt aus dem Draht in die Erde und wieder zurück in den Draht. Die auf- und niederzuckenden Ströme rufen in dem umgebenden Raum pulsierende magnetische Kräfte hervor, die sich in Wellenringen durch den Raum verbreiten und, wenn sie einen abgestimmten Empfangsdraht treffen, in diesem wiederum pulsierende Ströme erzeugen. Jede Entladung ruft also eine Reihe von Schwingungen hervor, die ungeheuer schnell verlaufen, in 1 Millionstel Sekunde eine Schwingung, aber fast ebenso schnell abklingen (Fig. 136, XLVII). Sie sind gedämpft, wie man es technisch bezeichnet, ähnlich wie die Schwingungen einer ausgelösten gespannten Feder. Höchstens 10 von solchen Schwingungen können wir nutzbar machen, ihre Zeitdauer umfaßt also nur 1 Hunderttausendstel Sekunde. Die Eigenart der Luftfunkenstrecke gestattet nun nicht, eine neue Ladung des Drahtes unmittelbar darauf folgen zu lassen. Es vergeht etwa $^1/_{20}$ Sekunde, ehe eine Neuladung des Drahtes möglich wird. Dies hängt damit zusammen, daß die Funkenstrecke auch nach dem Abklingen der Schwingungen wegen der hocherhitzten Gase nicht sofort ihre Leitfähigkeit verliert, was aber notwendig ist, um eine neue Ladung aufzunehmen. Gehen wir zu dem Bilde mit dem Wasserschlauch zurück, so wäre dies mit dem Umstande zu vergleichen, daß der geplatzte Schlauch nicht sofort wieder abzudichten ist. Auf jeden Entladungsvorgang, der ein Hunderttausendstel Sekunde in Anspruch nimmt, folgt eine Pause von fünf Hundertstel Sekunde, ehe der Draht wieder elektrisch dicht ist. Diese Zeiten verhalten sich wie 1 : 5000. Mit einer gewöhnlichen Luftfunkenstrecke ist eine schnellere Ladungsfolge nicht möglich. Sie ist einem Arbeiter vergleichbar, der eine Stunde lang Schwingungen erzeugt und sich 200 Tage von dieser anstrengenden Arbeit ausruht.

Könnten wir dagegen ununterbrochen fortlaufende Schwingungen hervorrufen (Fig. 135, XLVII), so würden wir unvergleich-

Digitized by Google

lich viel mehr damit leisten, selbst wenn die einzelnen Schwingungen von wesentlich geringerer Intensität wären.

Das große wissenschaftliche Ereignis des letzten Jahres ist nun die technische Lösung dieses Problems und damit auch dasjenige der drahtlosen Telephonie. Neue und überraschende Hilfsmittel finden dabei Verwendung. Wer vor 30 Jahren, als das elektrische Bogenlicht seine herrliche Leuchtkraft zu allgemeiner Verwendung entfaltete, behauptet hätte, daß wir dereinst mit seiner Hilfe über den Erdball rufen würden, den hätten wir sicherlich als gestört betrachtet — jetzt ist es Ereignis.

Die Erfindung hat eine interessante Vorgeschichte. Vor einigen Jahren glückte dem Engländer Duddell das Experiment, aus einem mit stetigem Gleichstrom erzeugten Lichtbogen einen pulsierenden Wechselstrom abzuleiten. Er zweigte von den Polen einer Bogenlampe einen Stromkreis ab, der außer einem sogenannten induktiven Widerstand L eine Leydener Flasche C (Fig. 147, XLIX) enthielt.

Als induktiven Widerstand bezeichnet man das Hindernis, welches ein Wechselstrom beim Passieren eines Drahtes sich selber schafft. Wickelt man den Draht zu einer Spule, so verstärkt sich das Hindernis und wird wesentlich größer als für den ausgestreckten Draht von gleicher Länge. Der sonstige Widerstand des Drahtes, soweit er durch das Material bedingt ist, spielt demgegenüber bei hoher Frequenz des Wechselstroms nur noch eine untergeordnete Rolle. Der Wechselstrom wird gezwungen, in kreisförmiger Bahn fortzuschreiten und empfindet diese fortwährende Ablenkung aus dem geraden Wege wie einen vermehrten Widerstand.

Die Leydener Flasche ist der bekannte Ansammlungsapparat für Elektrizität. Durch den Anschluß derselben an die eine Kohle des Lichtbogens wird sie geladen und, da durch den leitenden Lichtbogen hindurch eine Verbindung mit der anderen Belegung der Flasche hergestellt ist, so kann sie sich sofort wieder entladen. Die Flasche wirkt dabei wie eine Feder, die übertragene Ladung pendelt wieder zurück und erfüllt den an-

Digitized by Google

geschlossenen Kreis mit einem oszillierenden Strom. So lange am Lichtbogen Gleichstrom übertritt, kann dieser Vorgang sich in ununterbrochener Folge wiederholen; wir erhalten einen dauernden und deshalb ungedämpften Wechselstrom, ähnlich wie wir ihn durch Maschinen erzeugen.

Der Vorgang wird verständlicher werden, wenn wir andere ähnliche und wohlbekannte Naturerscheinungen heranziehen. Zupfen wir eine Violinsaite, so hören wir einen Ton der schnell verklingt. Die Schwingungen der Saite werden durch Bewegungswiderstände gedämpft. Streichen wir dagegen mit einem Violinbogen darüber hin, so wirkt die Reibung desselben wie ein ununterbrochen wiederholtes Zupfen, wir hören einen andauernden ungedämpften Ton. Ebenso ist es bei der Uhr: das Pendel ohne Gewicht oder Feder würde bald zur Ruhe kommen, erst die Stöße des schwingenden Ankers auf das Steigrad ermöglichen dauernde Oscillationen. So könnte ich die Beispiele beliebig häufen; es ist nachher leicht zu sagen, wo Barthel Most hätte holen können, tatsächlich hat ihn aber der blinde Zufall geleitet.

Das Interesse konzentrierte sich bei der Erfindung Duddells zunächst auch nicht auf die Erzeugung ungedämpfter Schwingungen, sondern auf eine niedliche Spielerei, die dadurch ermöglicht wurde. Die im Nebenkreise erzeugten Stromschwingungen lagern sich in dem Lichtbogen über den Gleichstrom und bringen dadurch die Flamme desselben in rhythmisches Zucken, welches in der Luft Schallschwingungen erzeugt, ähnlich wie bei dem vorhin betrachteten Flammentelephon. Wir hören ein deutliches Pfeifen. Die sekundliche Zahl der Schwingungen und damit die Tonhöhe hängt von der Größe der Leydener Flasche und dem induktiven Widerstand ab. Ich habe ein instruktives Spielzeug daraus gemacht, ein Musikinstrument mit allerdings fragwürdigem Kunstgenuß. Durch eine Tastatur werden induktive Widerstände von verschiedener Größe eingeschaltet, so daß ich damit Melodien spielen kann (Fig. 148, L).

Die Erfindung ist sehr merkwürdig. Bei dem soeben angestellten Versuch speisten wir die Bogenlampe von einer besonderen Batterie. Wir wollen sie jetzt in einem Nebenzimmer

Digitized by Google

an die elektrische Lichtleitung des Hauses schließen, welche die Beleuchtung dieses Saales bewirkt. Alle Bogenlampen, welche angeschlossen sind, pfeifen uns dann das gleiche Lied. Sämtliche Säle dieses weiten Hauses werden jetzt von Musik erfüllt. Es gab keinen geringen Aufruhr in den Zeichensälen und Auditorien, als ich dieses Experiment zum ersten Male anstellte und alle Bogenlampen anfingen, ein Lied zu pfeifen. Ein Spaßvogel erlaubte sich in meiner Abwesenheit einen höchst unpassenden Scherz. In dem Hörsaal über uns fand eine Damenvorlesung statt über moderne Kunst. Mitten in weihevoller Stimmung pfiffen plötzlich alle Bogenlampen einen ebenso lustigen wie zweideutigen Gassenhauer. Es fand eine Disziplinaruntersuchung statt, die leider nicht zur Ermittlung des Schuldigen führte.

Nichts lag nun näher als der Gedanke, die so erzeugten ungedämpften Schwingungen für die Funkentelegraphie zu verwerten. Man hatte ja nur mit dem Schwingungskreise einen abgestimmten Vertikaldraht zu verbinden und konnte dann den Raum in ungedämpfte elektromagnetische Vibrationen versetzen. Die an der Ausbildung der Funkentelegraphie beteiligten Forscher haben es an Fleiß und Mühe nicht fehlen lassen. Aber die Sache scheiterte zunächst an einem scheinbar geringfügigen Umstand: Die für die Fernwirkung unbedingt erforderliche Schnelligkeit der Schwingungen ließ sich nicht erreichen. Die Pfeiftöne, welche wir gehört haben, entsprechen wenig Tausend Schwingungen in der Sekunde, die Begehrlichkeit des Funkentelegraphentechnikers richtete sich aber auf Hunderttausende.

Ein dänischer Ingenieur, Waldemar Poulsen, war es, dem es gelang in diesem Wettstreit durch eine überraschend einfache Erfindung zuerst den hohen Ton zu erreichen, der, akustisch zwar nicht mehr wahrnehmbar, den Elektriker aber ebenso entzückte wie den Musikenthusiasten das dreigestrichene C des gefeierten Heldentenors. Er wurde der Sieger in dem neuen Sängerstreit, indem er den Lichtbogen nicht in der Luftatmosphäre, sondern in einer mit Wasserstoff erfüllten Kammer brennen ließ. Dies einfache Mittel ergab die Möglichkeit, die Schwingungen auf die erforderliche Tonhöhe zu stimmen.

Digitized by Google

In Deutschland begnügte man sich nicht mit der Kenntnisnahme der bloßen Tatsache, man forschte nach dem Warum und Weshalb. Und bald war es erkannt: Die Begründung lag in der großen Wärmeleitungsfähigkeit des Wasserstoffs gegenüber der Luft. Dem heißen elektrischen Lichtbogen mußte intensiv Wärme entzogen werden.

Mit den ungedämpften Lichtbogenschwingungen können wir ähnliche Effekte erzielen, die wir mit gedämpften Funkenwellen unter Benutzung der Resonanz hervorgerufen haben. Sie fallen aber nicht mehr so imponierend in die Augen. Als ich damals eine abgestimmte Drahtspule an den Schwingungskreis schloß, sahen wir meterlange Funkenblitze, die aus dem freien Ende der Spule mit ohrenbetäubendem Geknatter hervorschossen. Jetzt sehen wir nur eine kleine sprühende Flamme (Fig. 149, L). Bei den intermittierenden Stößen der früheren Methode mußten wir starke Spannungen verwenden, um den Raum explosionsartig zu erschüttern. Hier sind es nur geringe Spannungen, die wir wahrnehmen, aber die Energie der Schwingungen ist trotzdem nicht geringer, denn die Anzahl der Schwingungen, die wir in gleicher Zeit nutzbar aussenden, ist vieltausendmal größer. Statt des Donners einer Kanone, die nur in Pausen die Luft erschüttert, haben wir hier das ununterbrochene Knarren der Maschinengewehre.

Von der großen Energie aber, die den ungedämpften Schwingungen selbst bei geringer Spannung innewohnt, sollen uns einige Versuche überzeugen. Von dem strahlenden Büschel dieser Spule, so unscheinbar es aussieht, geht eine überraschende Wirkung aus. Es ladet alle in der Nähe befindlichen Leiter mit hochgespannter Elektrizität und ich brauche der in einiger Entfernung über der Spule isoliert aufgehängten großen Messingkugel (Fig. 149, L) nur einen Metallstab zu nähern, und Sie sehen einen helleuchtenden Lichtbogen. Diese Kugel nimmt also so energisch Elektrizität auf, daß sie nunmehr imstande ist, dieselbe kontinuierlich abzugeben. Leider ist diese ideale Art der Elektrizitätsentnahme an zwei große Unannehmlichkeiten geknüpft. Die eine ist, daß der Abstand zwischen der ladenden Spule und

Digitized by Google

dem geladenen Gegenstand nicht allzu groß sein darf, wenn ein nennenswerter Effekt erzielt werden soll, und die andere bezieht sich auf die Gefahr, die damit verbunden ist, wenn man mit bloßen Händen an einen in dieser Weise geladenen Metallgegenstand faßt. Man trägt nämlich sofort eiternde Brandwunden davon, die sehr unangenehm sind. Auch ist hier Gefahr vorhanden, daß in der Nähe befindliche brennbare Gegenstände in Flammen geraten, denn die Büschelentladung der Spule, ebenso wie der Lichtbogen bei der Entladung nach einem Leiter, sind mit großer Hitzeentwicklung verbunden. Dagegen verspürt man bei Benutzung eines Metallstabes nicht das geringste, auch wenn man seine eigene Person an die Stelle der vorhin verwendeten Kugel bringt und sich selbst an deren Stelle laden läßt. Jetzt entsteht, wie Sie sehen, ein Lichtbogen zwischen mir und meinem Diener, der in etwas größerer Entfernung von der Spule steht und darum weniger stark geladen wird (Fig. 150, LI).

Es ist klar, daß man mit diesen ungedämpften Schwingungen ebenso telegraphieren kann wie mit den gedämpften, welche wir bisher durch eine Luftfunkenstrecke erzeugten: wir haben nur nötig, mit dem Kondensator eine Antenne zu verbinden und diese auf die Wellenlänge des Kreises abzustimmen. Die Vorteile, welche die Verwendung ungedämpfter Schwingungen besonders wegen der erhöhten Abstimmungsfähigkeit für die drahtlose Telegraphie mit sich bringen mußte, war jedem Fachmann einleuchtend; ein wahrer Enthusiasmus bemächtigte sich der beteiligten Kreise und man fand es ganz begreiflich, daß Lord Armstrong in England das Poulsensche Wasserstoffpatent für mehrere Millionen Mark erwarb. Seitdem ist ein halbes Jahr vergangen und noch ist an keinem Orte der Erde die Telegraphie mit ungedämpften Wellen in dauernden praktischen Betrieb genommen. Woran liegt dies? Sorgfältige Studien haben uns gezeigt, daß der Enthusiasmus für die ungedämpfte Wellentelegraphie etwas verfrüht war, denn es haften derselben zwei Unvollkommenheiten an, die nicht ohne weiteres überwunden werden konnten. Zunächst ist es nicht möglich, mit dem Lichtbogen Schwingungen von dauernd absolut konstanter Wellenlänge zu

Digitized by Google

erzeugen. Die Verhältnisse am Lichtbogen sind schwankender Natur. Der ungleiche Abbrand der Kohlen, wegen mangelnder Homogenität derselben, geringe Unregelmäßigkeiten in dem konstanten Gleichstrom, der den Bogen speist, bedingen einen Wechsel in der Wellenlänge der erzeugten Schwingungen. Zwar beträgt er weniger als ein Prozent, reicht aber aus, um die Vorteile, welche das Ungedämpftsein für die Abstimmung mit sich bringt, wieder illusorisch zu machen, so daß die erreichte Genauigkeit der Abstimmung nicht größer wird, als bei der bisher üblichen Funkentelegraphie.

Dazu kommt ein zweiter Übelstand, welcher der Telegraphie mit ungedämpften Wellen den gedämpften Funkenwellen gegenüber den Stempel der Minderwertigkeit aufdrückt. Es ist bisher noch nicht gelungen, mit denselben Schreibapparate zu betätigen, man kann die Morsezeichen nur mit dem Telephon abhören. Zur Zeit (1906!) sind die Aussichten für die praktische Verwendung der ungedämpften Wellen deshalb noch wenig günstig. Der anfängliche Enthusiasmus über die ungedämpften Wellen hat eine unerwartete Dämpfung erfahren.

Dies gilt aber nur für die Telegraphie mit Morsezeichen. Ihre Bedeutung für die drahtlose Telephonie bleibt unverändert bestehen. Der fortlaufende ungedämpfte Wellenzug der schnellen Schwingungen mit großer Reichweite bietet ein vollendetes Mittel, übergelagerte Mikrophonschwingungen sicher mit fortzutragen. Die ungedämpften Wellen, die ohne Drahtleitung den Raum durcheilen, treten an die Stelle des Gleichstroms der Drahttelephonie als Träger der Lautschwingungen. Könnten wir mit geistigen Augen den Raum durchdringen, so würden wir in dem gleichmäßigen Wellenzug der ungedämpften Schwingungen gewisse An- und Abschwellungen erkennen, die von den aufgedrückten Mikrophonschwingungen herrühren und in ihrer zeitlichen Folge und Intensität den feinsten Modulationen der Sprache, wie sie das Mikrophon vermittelt, entsprechen (Fig. 151, LII). Verbinden wir mit dem Empfangsdraht in geeigneter Weise ein Telephon, so muß die Schallmembran all diese Schwankungen mitmachen. Für die schnellen tragenden Schwingungen ist das Ohr unempfindlich, die langsamen Schwellungen

Digitized by Google

nimmt es dagegen im richtigen Zeitmaß auf und vermittelt uns damit die menschliche Sprache mit all ihren Feinheiten.

Dieser Tisch (Fig. 152, LI), den die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie (Telefunken) zusammenstellte, ist eine Station zum Fernsprechen ohne Draht. Sie sehen auf demselben 12 wassergekühlte Lichtbogen, an Stelle eines solchen in Wasserstoff, die durch Anschluß an das Netz zum Brennen kommen. Die unten befindlichen Widerstände gestatten den Gleichstrom zu regulieren, den die Lichtbogen, an die ein Kondensator sowie eine Spule parallel angeschlossen sind, in den Wechselstrom von hoher Frequenz umwandeln. Die Schwingungen in diesem Kondensatorkreise übertragen sich von der durchflossenen Spule infolge Transformationswirkung auf eine zweite, die in die Antenne eingeschaltet ist, um diese zum Mitschwingen zu veranlassen. Hierdurch würde sie zunächst nur in derselben Weise Wellen aussenden, wie jeder Sender für drahtlose Telegraphie, bei welchem eine Taste durch Niederdrücken und Öffnen Schwingungen entstehen läßt oder nicht, die ihre Intensität aber niemals ändern. Zur Telephonie war es erforderlich, sie nach den akustischen Schwingungen unserer Sprachlaute zu variieren, dies besorgt ein Mikrophon, das an die Enden der in der Antenne befindlichen Spule gelegt ist. Je nach den Widerstandsänderungen, die das Mikrophon beim Schwingen seiner Membran erleidet, bietet es den schnellen Schwingungen einen mehr oder weniger gangbaren Nebenweg und schwächt sie dadurch in rhythmischer Weise.

Die Station kann nur entweder geben oder empfangen, nie beides gleichzeitig, weil die verhältnismäßig starken Schwingungen beim Senden die empfindlichen Empfangsapparate, die ja an den gleichen Luftdraht gelegt werden müssen, zerstören würden. Steht die Station auf Empfang, so entsaugt der Luftdraht dem Raume gleichsam die elektrischen Wellen und führt sie, wenn ich von den Details absehen darf, einem Telephonhörer zu, in dem die, den schnellen Schwingungen überlagerten, akustischen hörbar werden, so daß man deutlich das am Sender Gesprochene vernehmen kann.

Nach Anruf der Gegenstation, die sich in 4 km Entfernung

Digitized by Google

im Hause der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie befindet, aber durch das Häusermeer Berlins von uns getrennt ist, können wir deutlich die dort gesprochenen Zahlen hören und mit den dortigen Herren Zwiesprache halten. Auffallend ist das Fehlen aller Nebengeräusche.

Der Gesang Carusos, allerdings nur aus dem Schalltrichter eines Grammophons, wird durch den brausenden Lärm der Weltstadt hindurch in vollster Reinheit an unser Ohr getragen.

Ist auch Professor Ayrtons Traum (vgl. Seite 166) noch nicht völlig erfüllt, so hat doch 25 Jahre nach Lavernock-Point-Flatholm das Publikum von der Rundspruchei genschaft der drahtlosen Technik in vielen Ländern weitgehenden Gebrauch gemacht. So sind z. B. in den Vereinigten Staaten schon rund $1^1/_2$ Millionen Amateur-Empfänger im Gebrauch, für die zahlreiche besondere Sendestationen zur Verfügung stehen. Eine solche Einrichtung gehört dort vielfach zum Komfort einer modernen Wohnung. Durch Drehung des Abstimmknopfes des kleinen Kastens, dessen Telephon man ans Ohr nimmt, kommt zunächst ein Geräusch, ähnlich einem Quietschen oder Brodeln zustande, das bei einer bestimmten Einstellung in eine menschliche Stimme übergeht. Je nach der eingestellten Wellenlänge und Zeit hört man entweder die Ergebnisse eines Sportwettkampfes, eine fromme Predigt, den Vortrag eines berühmten Gelehrten oder Politikers bzw. die Koloraturen der gefeierten Sängerin. Auch gibt es Apparate, die so eingerichtet sind, daß sie mit Hilfe eines lautsprechenden Telephons das ganze Zimmer mit lauter, und fast könnte man sagen vollendet vorgetragener Musik erfüllen.

Auch andere Länder sind dabei, den Weg der Amerikaner zu gehen, der zu einer Popularisierung der drahtlosen Technik und der Kunst führt, welch letztere im vollsten Sinne des Wortes ins Volk getragen wird. So kann auch der Einsame durch die Drahtlose an die „Segnungen unserer Zivilisation“ angeschlossen werden.

Digitized by Google

11.

Ein Vierteljahrhundert drahtlose Telegraphie.

(1897—1922.)

Nachdem Slaby und viele andere, in Deutschland besonders Professor Braun, Straßburg i. E., in rastloser Forschertätigkeit die Grundgesetze, auf denen die drahtlose Telegraphie beruht, erkannt hatten, nahm die Industrie mit ihren reicheren Mitteln die Weiterentwicklung in die Hand. Die öffentliche Meinung, die sich mit allem Neuen und ganz besonders mit den an das Wunderbare grenzenden Entdeckungen um so mehr beschäftigt, je mehr Erfolge (und seien es auch nur Zufallserfolge) sie zu verbuchen haben, verlangte nach einem möglichst betriebssicheren, vom Drahte unabhängigen Nachrichtenmittel. Es war klar geworden, daß der drahtlosen Telegraphie diejenigen Gebiete des Gedanken- und Nachrichtenaustausches vorbehalten sein müssen, in denen es bisher entweder unmöglich oder unökonomisch war, die Drähte der Linientelegraphie zu ziehen, welche die unaufhaltsam fortschreitende Zivilisation nun eben einmal braucht. Der Telegrammverkehr von Schiffen untereinander und mit dem Festland (zu dem sich später auch der Verkehr der Luftfahrzeuge gesellte) gehört für die Sicherheit derselben und die Abwicklung der Geschäfte der Fahrgäste mit zu den wichtigsten Teilen des Nachrichtenverkehrs überhaupt. Der bisherige optische Signalverkehr konnte wegen seiner geringen Reichweite und Umständlichkeit den fortgeschritteneren Anforderungen natürlich nicht genügen. Die Zahl der durch die Funkentelegraphie aus Seenot geretteten Schiffe ist dagegen schon eine sehr große. Auch für Heeresteile, die sich in Bewegung befinden, insbesondere über vom Feind besetzte

Digitized by Google

Gebiete hinweg, mußte die drahtlose Telegraphie um so mehr Vorteile bieten, je überlegener ihre Technik der des Feindes ist. Forschungsexpeditionen mußten einen großen Teil ihrer Gefahren verlieren. Selbst exotische Staaten stellten die „Drahtlose" bald in den Dienst ihres Verkehrsnetzes, da sie ungangbare Zonen, wie Urwälder, Wüsten und Eisgebiete, betriebssicherer überbrückt als der Draht, der unausgesetzt der Zerstörung durch Fauna und Flora unterliegt. Auch an die drahtlose Verbindung der Kontinente dachte man bald, teils zur Entlastung der bestehenden Kabel, teils um die kostspielige Legung neuer zu sparen. Kriege und Umwälzungen vermögen Kabel und Draht für lange Zeit außer Betrieb zu setzen, dem Äther als Verbindungsmittel jedoch nichts anzuhaben. Freilich mußte man die Ausstreuung der vielfach nur für einen Empfänger bestimmten Nachrichten an alle darauf abgestimmten mit in Kauf nehmen. Die drahtlose Telegraphie ist in diesem Falle eine Energieverschwendung und belästigt viele mit Signalen, die sie weder hören wollen noch sollen. Betriebsstörungen anderer verkehrender Stationen konnten nur durch die fortschreitende Technik und auch durch diese nicht immer verhindert werden. Die sog. Zirkularwirkung der drahtlosen Telegraphie hat aber für manche Zwecke wieder ihre unbestreitbaren und durch nichts aufwiegbaren Vorteile, wenn es gilt, vielen Empfängern zu gleicher Zeit dieselbe Nachricht zukommen zu lassen. Zeitsignal, Sturmwarnungen sind wertvoll für alle Schiffe, Tagesneuigkeiten und Börsenberichte für zahlreiche Abonnenten, Musik selbst für den Amateur.

Die Erfindungen Slabys und seines Assistenten, Graf Arco, wurden von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft übernommen, in die Graf Arco eintrat. Prof. Brauns Erfindungen dagegen, deren wertvollste der geschlossene Schwingungskreis war, wurden von Siemens & Halske bearbeitet. Es kam zu einem Konkurrenzkampf beider Systeme in Deutschland, der die geistigen Kräfte beider Forscher, zum Nutzen des Ganzen zu wirken, behinderte. Wohl war auch Slaby von seiner Sendeschleife abgegangen und hatte ähnlich, wie an seinem Empfänger, einen geschlossenen Kreis, der die Funkenstrecke und Kondensatoren enthält mit der

Digitized by Google

Antenne gekoppelt, aber sowohl das Patentamt wie die gesamte Welt, waren sich darüber einig, daß diese Erfindung, auf der im Verlaufe alle drahtlosen Sender der Welt aufgebaut wurden, Braun zuzusprechen ist. In der Verleihung des Nobelpreises an ihn und Marconi im Jahre 1909 fand dieses seinen bestätigenden Ausdruck. Zum Glück wurde die deutsche drahtlose Telegraphie vor einer Zersplitterung bewahrt, indem es die beiden Systeme zu vereinigen gelang; die genannten deutschen Elektrofirmen, Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft und Siemens & Halske, gründeten im Jahre 1903 die „Gesellschaft für drahtlose Telegraphie", deren System, auf beide Plattformen gestellt, sich unter der Leitung des Grafen Arco und seiner Mitdirektoren zu dem weltbekannten Telefunkensystem entwickelte.

So hat nun die drahtlose Telegraphie in den 25 Jahren ihres Bestehens eine Reihe von Entwicklungsepochen durchlaufen. Noch zu Slabys Zeiten verließ man den Fritter, um auf Hörempfang überzugehen, bei dem ein unvollkommener Kontakt, z. B. das Mikrophon, als Detektor Verwendung fand. Von diesem ging die Reihe der sogenannten Kontakt- oder Kristalldetektoren aus, welche die schnellen Empfangsschwingungen in Gleichstromstöße verwandeln, die die Telephonmembran mit demselben Rhythmus zum Schwingen bringen, welche der Anzahl der Funkenentladungen am Sender pro Sekunde entspricht (Fig. 153, LII). Der Hörempfang war scheinbar ein Rückschritt, der die Einführung in Heer und Marine erschwerte. Da durch ihn jedoch die Reichweite eines Senders vergrößert, und infolge Fortfalls des Fritters und seines Relais ein viel höherer Grad von Betriebssicherheit erreicht wurde, konnte die Funkentelegraphie auf eine breitere Basis gestellt werden. In noch höherem Maße trug hierzu die Einführung des Braunschen geschlossenen Schwingungskreises bei (Fig. 154, LIII), durch den es möglich wurde, der Antenne mehr Energie zuzuführen, welche vom Kondensator des geschlossenen Kreises als Reservoir für längere Zeit der Antenne zur Verfügung gestellt wird. Die Zweiwelligkeit, die dem Braunschen Sender eigentümlich ist, mußte man damals noch mit in Kauf nehmen. Sie verschlechterte die Betriebsbedingungen, was sich um so nachteiliger bemerkbar

Digitized by Google

machte, als bei der Weiterentwicklung der Funkentelegraphie höhere Anforderungen mit Rücksicht auf die Abstimmschärfe der Empfänger gestellt werden mußten.

Ein neuer Entwicklungsabschnitt in bezug auf Sender wurde dadurch erreicht, daß die langen Energiepausen zwischen den in Abständen aufeinander erfolgenden Funkenentladungen, z. B. beim Hammer-Induktor, durch Erhöhung der sekundlichen Funkenfolge unter Energiespeisung mittels technischen Transformators verringert wurden. Der Schwingungsvorgang nahm im Laufe der Zeit immer mehr einen nahezu kontinuierlichen Charakter an. In dieser Richtung bedeutete die Erfindung des Lichtbogensenders durch Poulsen einen gewaltigen Schritt vorwärts. Man setzte auf dieses System sehr große Erwartungen, da es zum Idealfall führt, kontinuierliche Schwingungen zu erzeugen (Fig. 155, LII). Diese Erwartungen wurden aber nur teilweise erfüllt, da es zunächst unmöglich war, Frequenz und Amplitude genügend gleichmäßig und konstant zu machen, und zwar auch dann nicht, wenn zur sorgfältigen Bedienung der Lampe alle erdenkliche Mühe aufgewandt wurde. Erst fast ein Jahrzehnt später konnte durch Beschränkung des Wellenbereiches auf Wellen über 2000 m sowie durch Verbesserung der Schaltung und Konstruktion ein solcher Fortschritt erzielt werden, so daß auch diese Sendemethode zu praktischer Bedeutung gelangte und Ausbreitung fand. Einen unbestrittenen Fortschritt ermöglichte der Lichtbogensender aber doch: mit ihm gelang es zum erstenmal das gesprochene Wort drahtlos zu übertragen.

Für den Empfang bedeutete das damalige Poulsensystem zunächst sogar einen Rückschritt, weil zum Nachweise der Empfangsschwingungen an Stelle des bisherigen Gleichrichters (Kontaktdetektors) ein neuer Apparat, der sog. Ticker oder Schleifer, gesetzt werden mußte, um die kontinuierlichen Schwingungen am Empfänger in Gleichstromstöße für das Telephon umzuwandeln. Kontinuierlich erfolgende schnelle Schwingungen, von der Schwingungszahl in der Größenanordnung viele Tausende bis zu einer Million, vermögen weder auf die träge Membran des Telephons zu wirken, noch können sie vom menschlichen Gehörorgan wahrgenommen werden.

Digitized by Google

Es mußte darum eine besondere Kontakteinrichtung (Schleifer) diese kontinuierlichen Schwingungen in einzelne Impulse von einer solchen Langsamkeit zerlegen, daß sie hörbar werden. Der Schleifer gab aber infolge seiner mechanisch bewegten Teile einerseits häufig zu Betriebsstörungen Anlaß, anderseits gab er nur Geräuschempfang, der sich von den Störungen atmosphärischer Natur weniger unterscheidet als der Empfang von Funkensendern vermittels des Kontaktdetektors. Der größeren Allgemeinempfindlichkeit des Schleifers stand demnach eine vermehrte Störungsempfindlichkeit gegenüber.

Das nach dem Auftreten des Lichtbogensenders schon totgesagte Funkensystem erlebte einen neuen und für seine Ausbreitung folgenschweren Fortschritt durch das Aufkommen der Stoßerregung nach Prof. Wien. Er hatte gefunden, daß Funken, denen durch besondere Form der Elektroden die Wärme stark entzogen wird, sehr rasch abklingen, so daß die gedämpften Schwingungen nur außerordentlich kurz andauern. Es ist dann möglich, das Rückfluten des hochfrequenten Stromes aus der Antenne in den geschlossenen Kreis, infolge des Abreißens des Funkens, zu verhindern. Die Zweiwelligkeit des Braunschen Senders war nämlich gerade dadurch entstanden, daß der geschlossene Kreis und die Antenne, obwohl aufeinander abgestimmt, doch kein völlig einheitliches Schwingungssystem bildeten, sondern mehr oder weniger für sich schwangen. Wenn aber nach kurzer Zeit infolge des Abreißens des Funkens der geschlossene Kreis außer Betrieb gesetzt ist, so mußte die Antenne, sich selbst überlassen, in der ihr eigenen Dämpfung Schwingungen geben. Es liegt in der Hand des Konstrukteurs, diese Dämpfung so klein wie irgend möglich zu halten. Es wurde also die Zweiwelligkeit des Braunschen Senders beseitigt und die Möglichkeit der Steigerung der Funkenfrequenz zu gleicher Zeit gegeben; diese konnte bequem auf 1000 Impulse in mathematisch regelmäßigen Intervallen erhöht werden. Mit diesem System der „tönenden Löschfunken" begann der Siegeslauf des Telefunkensystems in der Welt! Der Wirkungsgrad der Anlage erreichte 50 Prozent und mehr. Von besonderer Bedeutung wurde die Möglichkeit, am Empfänger mit

Digitized by Google

jedem Kontaktdetektor die Morsezeichen als musikalische Töne aufzunehmen, deren Tonhöhe von der sekundlichen Funkenzahl am Sender abhängt, die dem Ohr des Telegraphisten angenehm klingen und sich von atmosphärischen Störungen ebenso wie von Sendern mit anderer Funkenfrequenz leicht unterscheiden lassen.

Für Großstationen gelang es in der Durchbildung der Hochfrequenzmaschinen einen Sender für kontinuierliche Schwingungen zu schaffen; dies bedeutet einen ungeheuren Fortschritt, indem damit zum ersten Male unbegrenzte Mengen hochfrequenter Energie erzeugt werden können, wenngleich auch dieses System, wie jedes andere, seinen besonderen Eignungsbereich hat, d. h. für gewisse Anwendungen weniger passend ist. Seinem Wellenbereich fehlen, wie dem Bogenlampensender, noch die kurzen Wellen, wie sie insbesondere für Schiffstationen erforderlich sind.

Die Hochfrequenzmaschine fällt mehr als alle anderen Sendereinrichtungen in das Gebiet der Wechselstromtechnik. Von der dort gebräuchlichen Wechselstrom-Dynamo von 50 Perioden bis zu einer solchen für 500 Perioden, wie sie zur Speisung der tönenden Löschfunkenstation mit 1000 Funkenentladungen pro Sekunde (d. h. also für jeden Wechsel einen) verwendet wurde, und weiter solche für 6000 bis 10000 Perioden, war kein großer Sprung. Ein mit normaler, in der Maschinentechnik üblicher Tourenzahl rotierendes Zahnrad, innerhalb eines Gehäuses mit Windungen zur Induktion des Wechselstromes, bei gleichzeitiger Erzeugung des erforderlichen magnetischen Feldes, ist das Wesentliche dieser Hochfrequenzmaschinen, wie sie sich z. B. in der Großstation Nauen seit vielen Jahren als außerordentlich betriebssicher erwiesen haben. Nur ein besonderer Kunstgriff ist hierbei noch erforderlich, wenn es sich darum handelt die erzeugte Frequenz der in der drahtlosen Telegraphie erforderlichen anzupassen. Mit 6000 bis 10000 vollen Schwingungen pro Sekunde kann man selbst mit den großen Antennenanlagen der Großstationen nicht viel anfangen. Ruhende Frequenzumformer verdoppeln jedoch die Maschinenfrequenz unter Ausnutzung der magnetischen Eigenschaften des Eisens. Der Wirkungsgrad einer solchen Anlage wie in Nauen erreicht mehr als 70 %.

Digitized by Google

Mit der Sendertechnik gelang es auch, die Empfängertechnik, und zwar in noch umfassenderer Weise zu verbessern. Den Anstoß gab hierzu die Erfindung der Kathodenröhre, die ihren Siegeslauf in der drahtlosen Technik als Empfangsverstärker begonnen hat. Es gelang Einrichtungen zu schaffen, bei denen die Kathodenröhre als Relais die Empfangsenergie auf das Millionenfache bringen konnte, so daß mit dem störungsfreieren Empfang zugleich die Reichweite eines Senders steigt. Auch den Kontaktdetektor ersetzt man durch die Kathodenröhre (Audion), diese nicht nur als Gleichrichter benutzend, sondern gleichzeitig auch ihre Verstärkereigenschaften und niedriger liegende Reizschwelle ausnutzend.

Was ist nun eigentlich eine Kathodenröhre, diese Wunderlampe Aladins, die sozusagen die ganze drahtlose Telegraphie reformiert hat? Sie ist jedenfalls das universalste Gerät, das man sich denken kann. Die Kathodenröhre eignet sich nicht nur zum Verstärken und Gleichrichten, sondern auch zum Erzeugen der schnellsten Schwingungen für die drahtlose Telegraphie. Hervorgegangen ist sie aus einer Erfindung des Österreichers v. Lieben und wurde zuerst zum Verstärken der Telephonströme benutzt.

Die Kathodenröhre ist im wesentlichen ein bis aufs höchste luftleer gemachtes Glasgefäß, in das drei Elektroden eingeführt sind, von denen die Anode an den positiven Pol einer Spannungsquelle (Anodenbatterie von höchstens 100 Volt) und die Kathode an deren negativen angeschlossen ist. Es ist aber keine hohe Spannung zwischen den beiden erforderlich, um den Kathodenstrahl zu erzeugen, wenn die Kathode zum Glühen gebracht wird. Ihre Form ist die eines Heizdrahtes, der an eine kleine Heizbatterie angeschlossen wird. Es besteht eine gewisse Verwandtschaft dieser Röhre mit der Röntgenröhre, bei der Röntgenstrahlen entstehen, sobald der von der Kathode ausgehende sogenannte Kathodenstrahl auf einen Metallspiegel fällt.

Der Kathodenstrahl besteht aus Elektronen, d. h. aus den kleinsten Masseteilchen mit der Kathode entsprechender negativer Ladung. Die im Heizdraht vorhandenen, frei beweglichen negativen Elektrizitätsatome werden mit großer Geschwindigkeit von der Kathode abgeschleudert und bewegen sich infolge der Anziehungs-

Digitized by Google

kraft der Anode auf diese zu. Da nun alle Elektronen diese elektrische Ladung besitzen, so stoßen sie sich gegenseitig ab und umgeben, einem Mückenschwarm oder einer Wolke vergleichbar, die Kathode. Dieser Schwarm wirkt auch drosselnd auf die weitere Aussendung der Elektronen, bis eine Art Gleichgewichtszustand eintritt. Die dritte Elektrode, die in Sieb- oder Gitterform zwischen Kathode und Anode angebracht ist, muß von den Elektronen auf ihrem Weg von der Kathode zur Anode passiert werden (Fig. 156, LIII). Angenommen nun, wir führten eine Wechselspannung zwischen dieses Gitter und die Kathode derart, daß in einem Augenblick das Gitter eine negative fremde Ladung erhält, dann wird die Drosselung der hindurchfliegenden Elektronen besonders wirkungsvoll und ihre Anzahl pro Sekunde, die das Gitter passiert (also die Stromstärke), besonders klein. Man kann sagen, der Elektronenstrom hat abgenommen. Wenn dagegen dem Gitter von außen her positive Spannung zugeführt wird, so tritt das Entgegengesetzte ein, das nunmehr positive Gitter wirkt anziehend auf die Elektronen und zerstreut sogar die erwähnte Wolke, so daß der Elektronenstrom weit über seine normale Stärke hinaus zunimmt. Interessanterweise rufen aber kleine Ursachen große Wirkungen hervor: Ganz minimale, an das Gitter angelegte Spannungsschwankungen haben sehr bedeutende Schwankungen des Elektronenstromes zur Folge, die außerdem in derselben Phase und proportional zur schwingenden Ursache auftreten. Die Glühkathodenröhre wird hierdurch zu einem Relais, dessen praktische Masselosigkeit nicht die geringste Verzerrung der eingeleiteten Spannungskurve beim verstärkten Strom zur Folge hat.

Das Gitter wirkt also wie eine Art Drossel oder Blende, die mit minimalem Kraftaufwand geöffnet oder geschlossen wird, und damit den hindurchtretenden Strahl außerordentlich wirkungsvoll steuert. Zwischen Gitter und Kathode wird als zu verstärkender Strom der Telephonstrom des drahtlosen Empfängers angelegt, von dem wir annehmen wollen, daß er zu schwach sei, um mit dem Telephon noch wahrgenommen zu werden. Dann wird an seiner Stelle der Elektronenstrom dem Telephon zugeführt, dessen Schwankungen 50 bis 100 mal so stark sind. Nun kann man sehr

Digitized by Google

gut mehrere solche Röhren hintereinander zur Verstärkung verwenden, indem der verstärkte Strom der ersten Röhre zwischen Gitter und Kathode der zweiten (Fig. 157, LIII), und der verstärkte Strom der zweiten zwischen Gitter und Kathode der dritten Röhre usw. zugeführt wird. Man erhält dann bei drei Röhren schon eine 100 000 fache Verstärkung. Auf diesem Wege gelingt es, selbst mit ursprünglich außerordentlich schwachem Strom mechanische Relais und wieder die Morseschreiber wie vor einem Vierteljahrhundert zu betätigen.

Selbst den schnellen Schwingungen des in der Empfangsantenne auftretenden Hochfrequenzstromes vermag die Kathodenröhre zu folgen und eine Gleichrichterwirkung auszuüben, so daß sie den Kontaktdetektor mit überragendem Erfolg ersetzen kann.

Eine ganz neue, bis dahin ungeahnte Möglichkeit, ungedämpfte Wellen in der drahtlosen Telegraphie zu erzeugen, bietet sich infolge der Durchbildung der Kathodenröhre als Sendeorgan. Sie wird hierbei zu einem Umformer von Gleichstrom in Hochfrequenzenergie. Wenn sich nämlich in dem Kreise, der die Anodenbatterie enthält (Fig. 158, LIII) ein aus Kondensator und Spule bestehender geschlossener Schwingungskreis befindet, der beim Anschließen der Spannungsquelle eine einmalige gedämpfte Schwingung ausführt, so kann diese durch einen Kunstgriff, den man die Rückkopplung nennt, zu einer anhaltenden Schwingung gemacht werden. Man braucht nur die eingeleiteten und zunächst gedämpften Schwingungen von der Spule des Kreises durch Transformation an Gitter und Kathode zu führen, so daß wieder eine Steuerung des Elektronenstromes, und zwar im Rhythmus der Schwingungen im Kreise zustande kommt. Die Anodenbatterie liefert dann von ihrem Vorrat Energie dem Kreise nach, die in diesem so lange schwingt, als die Anodenbatterie mit ihm verbunden ist. Schaltet man in diese Leitung eine Morsetaste oder ein Mikrophon, so werden im ersteren Falle die Schwingungen im Kreise nach den Morsebuchstaben und im letzteren nach akustischen Gesetzen beeinflußt. Koppelt man zum Kreis auch noch eine auf diese Schwingungen abgestimmte Antenne, so strahlt sie die Wellen aus. Die ungedämpften Schwingungen solcher

Digitized by Google

Kathodenröhren sind nun in bezug auf Konstanz von Amplitude und Schwingungszahl das Vollkommenste, was die heutige drahtlose Telegraphie kennt. Was der Lichtbogensender nicht gehalten hat und was auch mit der Hochfrequenzmaschine infolge der Unregelmäßigkeit der Tourenzahl ihres Antriebsmotors erst später erreicht worden ist: die Erzeugung einer Frequenz und Amplitude von mathematischer Gleichförmigkeit leistet der Kathodenröhrensender ohne weiteres. Man gelangt dadurch zu einer bisher ungeahnten Abstimmschärfe, die es ermöglicht, mit so nahe beieinander liegenden Wellen zu arbeiten ($^1/_2$% Wellenunterschied bei gleicher Zeichenstärke), daß unter selbstverständlicher Verwendung dazu passender Empfänger eine sehr viel größere Organisation radiotelegraphischer Anlagen gleichzeitig und störungsfrei arbeiten kann als bisher. Auch in der Möglichkeit der Erzeugung beliebig kleiner Wellen und schnellen Wellenwechsels befriedigt der Kathodenröhrensender vollauf. Die beste Ausnutzung der ungedämpften Senderenergie wird durch die Möglichkeit der Akkumulierung der Schwingungen am Empfänger sowie mittels des Überlagerungsempfanges erzielt.

Die ungedämpften Sender erhielten erst von dem Augenblick an ihre große Bedeutung, als es gelang, auch bei ihnen einen störungsfreien Tonempfang anzuwenden. Dies geschah durch das Überlagerungsverfahren.

Der Überlagerungsempfang besteht darin, daß eine Kathodenröhre eine ungedämpfte Hilfsschwingung am Empfänger erzeugt, die sich der Empfangswelle überlagert, mit ihr zur Interferenz kommt (Fig. 159, LIII) und Schwingungen hervorruft, deren Frequenz in den Bereich der hörbaren Töne gelegt werden kann. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, sogar jeden beliebigen Ton am Empfänger selbst einzustellen.

Die Durchbildung der Sender und der Empfänger, sowie deren Ausrüstung mit Kathodenröhren erfolgte nun Hand in Hand. Letztere kommen besonders in der sogenannten Audion-Rückkopplungsschaltung zur Anwendung, wobei die Empfangskreise zu praktisch ungedämpften werden, bei denen der Energieverlust der Schwingungskreise durch die Energienachlieferung der Audione ausgeglichen wird.

Digitized by Google

Der Vorteil dieser modernsten Geräte für Sender und Empfänger zeigte sich so ganz besonders während der letzten Phase des Weltkrieges, in dem es gelang die Anzahl der an der Front eingesetzten gleichzeitig und unabhängig voneinander arbeitenden Stationen auf ein Vielfaches der früheren zu bringen.

Selbstverständlich hat jeder der verschiedenen Sender seine Vorzüge und seine Nachteile, so daß es auf den ersten Blick schwierig erscheinen möchte, die richtige Wahl zu treffen. Dies wird jedoch dadurch erleichtert, daß man ja immer eine bestimmte Aufgabe bei höchster Ökonomie zu lösen hat.

Für Großstationen, die sich durch die Telegrammeinnahmen rentieren sollen, ist dasjenige Verfahren anzuwenden, das bei geringstem Stromverbrauch die geringsten Betriebsstörungen und daher die größtmögliche Ausnutzung für Schnelltelegraphie ermöglicht. Dies gibt ohne jeden Zweifel die Maschine. Also wird die Maschine überall dort, wo es auf Schnelltelegraphie bei täglich über lange Zeiträume fortlaufenden Betrieb ankommt und wo die Wellenlängen groß sind (größer als 3—4 km), die zweckmäßigste Erzeugungsmethode sein, d. h. für alle kommerziellen Zwecke bei Entfernungen von 3000 und mehr Kilometern. Die Bogenlampe wird die Maschine dann ersetzen, wenn geringe Forderungen an die Telegraphierleistungen gestellt werden, so daß häufige kurze Unterbrechungen, vorübergehende Wellenschwankungen und dergleichen für die Rentabilität nicht ins Gewicht fallen.

Für den Nachrichtenaustausch bei kleinen und mittleren Entfernungen, insbesondere mittels Telephonie, beherrscht heute schon die Röhre fast ausschließlich das Feld. Aber auch für größere Entfernungen von einigen hundert bis zu 2000 und 3000 km erweist sich bei Telegraphie heute schon die Röhre wegen ihres störungsfreien Arbeitens und wegen der weitgehenden Ausnutzung ihrer ganz konstanten Strahlung in Verbindung mit den modernen Empfängern als den anderen Methoden überlegen. Der hiernach der Bogenlampe verbleibende Bereich zwischen Maschine und Röhre wird nur in dem Maße der Bogenlampe reserviert sein, je geringer die Stationsdichte ist und je weniger hohe Wortleistungen gefordert werden. Für den Funkensender bleibt also wenig zu tun übrig;

Digitized by Google

die Funkentelegraphie Slabys ist endgültig zu einer drahtlosen Telegraphie geworden.

Es dürfte kaum möglich sein, einen besseren Einblick in die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie während der letzten Jahre zu gewinnen, als durch die Besichtigung einer Ausstellung, wie sie Telefunken vor kurzem eröffnet hat. Sie gibt auch zum ersten Male Gelegenheit, eine Übersicht über das gesamte Gebiet zu bekommen, mit besonderer Berücksichtigung der für Heer und Marine gebauten Stationen und Gegenstände, die vor Kriegsbeendigung als streng geheim anzusehen waren. Die Ausstellung zeigte zunächst Flugzeugstationen. Vor Kriegsbeginn waren in Deutschland erst wenige tastende Versuche mit Flugzeugsendern gemacht. Der erste für Fliegerzwecke gebaute Sender war mit den tönenden Funken ausgestattet und für drei feste Wellen und zwei Energiestufen eingerichtet. Er bediente sich einer etwa 35 m langen herabhängenden Antenne (Fig. 160, LII) und sein Generator wurde durch einen Hilfspropeller angetrieben. Er gab eine Reichweite von etwa 150 km bei entsprechender Gegenstation auf der Erde. Von dieser ältesten Flugzeugstation aus ist dann im Laufe des Krieges die Entwicklung sowohl hinsichtlich der Dimensionen und Leistungen der Sender, als auch hinsichtlich der Vervollkommnung gemäß den gesteigerten Anforderungen ausgegangen. Man erkennt eine Verbesserung des ursprünglichen Senders in einer Vereinigung von Sender und Empfänger in einem Kasten, wobei ein Problem in der drahtlosen Telegraphie gelöst ist, das schwieriger ist, als man glauben möchte. Die Senderenergie und Senderspannung gehen nämlich weit über das Maß hinaus, das die empfindlichen Teile des Empfängers zu vertragen imstande sind, und diese davor zu schützen, war nicht leicht. Die Anwendungsmöglichkeit des Empfängers im Flugzeug bei dem dort herrschenden Lärm von Motor und Propeller basiert auf der Durchbildung der Verstärker, die die Lautstärke auf das Vieltausendfache zu erhöhen vermögen. Ein weiter Schritt ist ferner von diesem Sender bis zu jenen für Großkampf- und Riesenflugzeuge, für die auch bereits ein stetig veränderbarer Wellenbereich von 300 bis 1200 bzw. sogar 1600 m Bedingung war. Für letztere beträgt die Reichweite nach der Erde schon 450 m bei einer An-

Digitized by Google

tennenlänge von 150 m. Der modernste, aber erst in der letzten Kriegszeit zur Anwendung gelangte Sender und Empfänger ist bereits mit Röhren ausgestattet, und zwar derart, daß eine Senderröhre, zwei Empfängerröhren (Audione) und vier Verstärkerröhren zur Anwendung gelangten (Reichweite etwa 200 km) (Fig. 161, LIII).

Als Anhängsel zu dieser Gruppe sah man ferner eine Luftschiffstation, wie sie auf den Zeppelinen bei deren Fahrten im Aufklärungs- und Beobachtungsdienst gute Erfolge erzielt hat. Durch sie ist es auch erst möglich geworden, dem Luftschiff den Ort mitzuteilen, an dem es sich befindet, wenn über See oder im Nebel und bei Nacht jede andere Orientierung versagte. Man hat dann von bestimmten festen Stationen auf der Erde aus den Luftschiffsender angepeilt und dem Schiff seinen Ort funkentelegraphisch mitgeteilt. Dimensionen und Gewicht dieser Station sind durch die Ausführung in Aluminium soweit als angängig vermindert. Die Leistung beträgt 0,5 Antennenkilowatt und der Wellenbereich ist ein stetig veränderbarer von 300 bis 1600 m; die Reichweite bis 1500 km. Die Antennenhaspel für drei Drähte von 150 m Länge ist im Unterteil des Schrankes untergebracht, bei dem durch einen stetigen Luftstrom und den Einbau aller Funkenteile in ein verschlossenes Gehäuse das Auftreten von Knallgas wirkungsvoll verhindert ist (Fig. 162, LIV).

Die Land- und Schiffstationen lassen sich in zwei Gruppen unterteilen: Die kommerziellen (Fig. 163, LIV), zum großen Teile schon vor dem Kriege vorhandenen Stationstypen sind eben so einfach, wie diejenigen für die Marine kompliziert sind. Es rührt dies daher, daß für erstere nur zwei Wellen international zugelassen sind (300 und 600 m), deren Einstellung durch wenige Handgriffe vorzunehmen ist, während die Stationen der ehemals Kaiserlichen Marine, wie alle militärischen Stationen, einen stetig veränderbaren Wellenbereich aufweisen müssen, um die Geheimhaltung der Funksprüche zu erleichtern. Fig. 164, LV, läßt die Antenne erkennen. Während fast alle kommerziellen Stationen mit den tönenden Funken ausgestattet sind, gibt es aber auch schon Vertreter der Röhrentype, die zuerst für U-Boot-Zwecke benutzt worden ist (Fig. 165, LV).

Große eiserne Kästen, um die Pfeiler in der Mitte des Saales

Digitized by Google

gruppiert, zeigen die Sender für unsere größeren und größten Kriegsschiffe von 10 bis 15 Antennenkilowatt, bestimmt für Großkampfschiffe, herab bis zu 2 kW für kleine Kreuzer (Fig. 166, LVI). Mittels der Handräder wird die befohlene Wellenlänge zunächst im geeichten Stoßkreise eingestellt, je nach der zu erzielenden Reichweite die Anzahl der Funkenstrecken reguliert, die Antennenabstimmung vorgenommen und mittels eines Kopplungsvariometers auf das weitere Maximum des Antennenstromes eingestellt. Die gleichfalls verwendete Hilfszündung gestattet für jede Tourenzahl des Antriebsgenerators ein exaktes Ansprechen der Funkenstrecken zu erzielen, damit am Empfänger nur reine Töne gehört werden. Eine Rückmeldevorrichtung gibt dem Kommandanten eine Kontrolle über die eingestellte Wellenlänge (Reichweiten bis 3000 km).

Eine weitere Gruppe zeigt die große Anzahl von Empfängern, die im Laufe der Zeit, und zwar auf besonderen Wunsch der militärischen Behörden durchkonstruiert wurden (Fig. 167, LVI). Man kann die Empfänger nach folgenden Gesichtspunkten einteilen: Solche mit Detektoren zum Empfang tönender Sender, denen man früher, wenn es sich darum handelte, ungedämpfte Sender aufzunehmen, als Ersatz für den Detektor, einen Schleifer beigab. Wie bekannt, ist hiermit aber nur Geräuschempfang zu erzielen, der dem in Toncharakter, infolge seiner Ähnlichkeit mit den atmosphärischen Geräuschen, bedeutend unterlegen ist. Die neueren Empfänger, bei denen das Audion den Detektor ersetzt, sind universaler, denn sie können sowohl zum Empfang tönender wie auch ungedämpfter Sender benutzt werden (Fig. 168, LVII). Unter dem Audion als Ersatz für Detektor ist aber nicht an einen Kriegsersatz zu denken, der bekanntlich schlecht zu sein pflegte; in diesem Falle ist der Ersatz viel besser als das Ersetzte.

Vor dem Kriege wurden die schnellen Schwingungen fast nur mit Hilfe von Kontaktdetektoren in Telephonströme niederer Frequenz umgeformt. Der Wirkungsgrad war hierbei jedoch sehr gering. Ihre beste Empfindlichkeit wurde durch sorgfältige mechanische Einstellung erreicht. Sie fiel aber nach kurzer Betriebszeit ab und ging bei starken Störungen gänzlich verloren, so daß der Telegraphist mit dem Wiedereinstellen viel Arbeit hatte.

Digitized by Google

Das einfache Audion bedeutet hiergegen bereits einen großen Fortschritt, da es zirka fünffache Lautstärke im Vergleich zum Kontaktdetektor gibt und selbst die stärkste Überlastung verträgt. Audione in direkter Empfangsschaltung sind aber nur bei wenigen Empfängern eingeführt, da sie zum Empfang ungedämpfter Sender ohne Hilfsmittel nicht verwendbar sind. Erst die von Telefunken durchgebildete Hochvakuumröhre in Verbindung mit der von Dr. Meißner angegebenen Rückkopplung ergab bedienungseinfache Empfangsgeräte, die zum Empfang von jeder Senderart geeignet sind. Die Lautstärken dieser Geräte sind dann etwa 100 mal besser als die früheren. Während bei den alten Detektorempfängern beim Übergang von Funkensenderempfang auf ungedämpften Empfang die Detektoren und Schaltungen am Gerät ausgetauscht werden mußten, erfolgt der Übergang beim neuen Gerät allein durch Änderung der Rückkopplung. Beim Empfang gedämpfter Stationen und bei Telephonieempfang wird mit schwacher Rückkopplung gearbeitet. Hierbei wirkt das Audion nur als Detektor; die Rückkopplung steigert die Lautstärke durch die sogenannte Reduktion der Dämpfung, da die Röhre hochfrequente Schwingungsenergie zu erzeugen vermag und damit Energieverluste in den Schwingungskreisen ausgeglichen werden. Beim ungedämpften Empfang wird durch stärkere Rückkopplung in den Empfangskreisen eine Hilfswelle für den ungedämpften Tonempfang erzeugt. Der Schwebungston tritt auf. Gleichzeitig werden die schnellen Empfangsschwingungen verstärkt und gleichgerichtet. Die Bedienung ist sehr einfach; beim Nachstimmen ist nur ein Abstimmhandgriff zu betätigen.

Man kann die Empfänger ferner einteilen in solche mit einem abgestimmten Schwingungskreis (Primärempfänger), bei denen es nur Antennen- und Detektorkreis gibt, in solche mit zwei abgestimmten Kreisen (Sekundär- oder Zwischenkreisempfänger), die außer dem Antennen- und Detektorkreis noch einen abstimmscharfen Zwischenkreis enthalten, und für besondere Zwecke auch noch einen Tertiärempfänger, die hierzu noch einen abstimmbaren Detektorkreis besitzen.

Die in dieser Gruppe gesammelten Empfänger sind ferner für

Digitized by Google

die verschiedensten Verwendungszwecke, nicht zuletzt hinsichtlich des Wellenbereichs, durchkonstruiert, der heute so ist, daß man mit wenig Handgriffen alle Wellen von der kürzesten praktisch verwandten bis zur längsten einstellen kann.

Man sah ferner Prüfungsapparate für Detektoren und Audione, Überlagerer als Zusatzgeräte zu Detektorempfängern, um sie zum Tonempfang von ungedämpften Sendern verwendungsbereit zu machen, sowie insbesondere eine Untergruppe: Die Wellenmesser.

Während die Wellenmesser für gedämpfte Sender entweder mit einer kleinen Geißlerschen Röhre, einer kleinen Glühlampe, einem Hitzdrahtinstrument bzw. Detektor und Telephon als Schwingungsanzeiger ausgestattet sind, dient bei den Wellenmessern für ungedämpfte Sender ein Detektor mit einem Drehspulen-Galvanometer zum Schwingungsnachweis. Infolge der außerordentlich scharfen und spitzen Resonanzkurven ungedämpfter Sender würde bei der Drehung des Wellenmesserkondensators um einen einzigen Grad die Resonanz leicht übersehen werden können. Es war deshalb erforderlich, sehr kleine Kondensatoren zu benutzen und so die Resonanzkurve künstlich zu verbreitern. Natürlich hatte dies zur Folge, daß der Wellenbereich eines Wellenmessers nur klein ist; deshalb war zur Deckung des verlangten Wellenbereichs die Kombination von drei oder vier ähnlichen Wellenmessern, untergebracht in einem Transportkasten, erforderlich.

Die gebräuchlichsten Detektoren sind an einer Tafel übersichtlich angeordnet. Fig. 169, LIX zeigt einen Pyritdetektor.

Die ausgestellten tragbaren Militärstationen sind zum Teil noch mit den Funkensendern, zum Teil auch schon mit Röhrensendern ausgerüstet. Auch bei ersteren bemerkte man bereits die modernen Röhrenempfänger.

Eine große Rolle spielte während des Stellungskrieges die sogenannte Schützengrabenstation, deren einzelne Teile von 13 Leuten auf dem Rücken getragen werden konnten; man konnte sie im zusammengebauten Zustande sehen. Die älteren Typen sind noch mit den Funkensendern, die neueren bereits mit dem Röhrensender versehen. Zum Energieausstrahlen dienen gerichtete Niedrigantennen (Erdantennen) und als Energiequelle Treträder bzw.

Digitized by Google

Handdrehmaschinen. Da es sich nur um die Verbindung vom Graben mit den hinten befindlichen Stäben handelt, reichen diese Antennen unter Verwendung von Verstärkereinrichtungen aus. Der zuletzt gebaute ungedämpfte Schützengrabensender enthielt Sender und Empfänger in einem Kasten bei stetig veränderbarem Wellenbereich unter Benutzung einer 10 Watt Senderöhre.

Auf einem Hofe des Telefunkenhauses sah man die fahrbaren Militärstationen, von denen es im deutschen Heere schwere und leichte, teils von Pferden gezogene, teils in Automobilen fortbewegte Stationen gab. Eine schwere Station ist hier leider nicht vorhanden. Eine leichte Station besteht aus zwei Fahrzeugen, von denen jedes aus Protze und Hinterwagen zusammengesetzt ist. Interessant ist hierbei das Stationsfahrzeug, welches im Vorderwagen Sender, Empfänger, Verstärker und Wellenmesser enthält, und auf dessen Hinterwagen der beim Transport umgelegte auf 18 m ausziehbare Teleskopmast und der Benzinmotor untergebracht ist. Der Mast dient als Träger einer aus 6, 4 oder 3 Drähten bestehenden Schirmantenne, die durch ein ebenso gestaltetes Gegengewicht ergänzt wird (Mindestreichweite 150 km) (Fig. 170, LIX).

Zum Verständnis der Wirkungsweise eines Röhrensenders dient ein Lehrgerät, das die üblichen Abstimmorgane, übersichtlich auf einem Brett angeordnet, enthält (Fig. 171, LVII, links). Mittels eines Sendeempfangsschalters kann die Antenne sowohl an den Sender als auch an den Empfänger angelegt werden, die beide hier ausnahmsweise sich der gleichen Röhre als Energiequelle bedienen. Auch ihre Abstimmkreise sind dieselben, so daß der Empfänger auf die gleiche Welle abgestimmt ist, die am Sender eingestellt wird. Man stellt im geeichten Zwischenkreis die verlangte Welle ein (sie kann zwischen 400 und 2000 m betragen), schaltet den Brennerkreis der Röhre ein und legte die Anodenspannung an die Röhre. Nach Drücken der Morsetaste setzen die Schwingungen ein, auf die die Antenne mittels ihrer Grob- und Feinabstimmung unter Berücksichtigung des Antennenamperemeterausschlages abgestimmt werden muß. Wenn die Kopplung zwischen Sender- und Zwischenkreis nicht zu fest gewählt worden ist, treten nur einwellige ungedämpfte Schwingungen von so hoher Konstanz der Amplitude und

Digitized by Google

Frequenz auf, daß wir es mit den abstimmschärfsten Sendern zu tun haben, die die heutige Technik kennt; der Sender ist betriebsbereit. Als Anodenspannung dient hierbei die 440-Volt-Spannung des Netzes; man kann aber auch ein Handdrehgestell oder einen kleinen Umformer verwenden, der von einem 12-Volt-Akkumulator mit Energie gespeist wird. Man ruft einen im Saale befindlichen, auf diese Welle abgestimmten Empfänger an, gibt ihm das Zeichen, das man nunmehr auf Empfang überzugehen beabsichtigt. Der Sendeempfangsschalter wird auf Empfang gelegt, das Telephon ans Ohr genommen und durch Drehung eines kleinen im Zwischenkreis befindlichen Variometers (Empfangssuchers) auf denjenigen Ton eingestellt, der sich am lautesten hervorhebt bzw. unserem Ohr am angenehmsten klingt und von fremden Störern sich am meisten unterscheidet. Hierbei wird das Prinzip des Schwebungsempfanges angewandt. Die gleiche Kathodenröhre, die als Detektor dient, erzeugt im Zwischenkreis ungedämpfte Schwingungen, die den ankommenden Schwingungen des mit uns korrespondierenden Senders überlagert werden. Die Tonhöhe, die wir hören, hängt von der Differenz der Frequenz beider Schwingungen ab und kann willkürlich groß oder klein, d. h. hoch oder niedrig gemacht werden. Durch den Einbau eines Mikrophons in den Antennenkreis ist derselbe Sender zur drahtlosen Telephonie verwendbar, die sogar drahtloses Gegensprechen ermöglicht, sobald man dem Empfänger eine besondere Antenne gibt und zwischen Sender und Empfänger eine kleine Wellenverstimmung anwendet (Fig. 171, LVII, rechts). Ein Telefunken-Röhrensender größter Type steht in Königswusterhausen, der Station der Reichspostverwaltung, die dem Verkehr mit den deutschen und vielen europäisch-ausländischen Hauptstädten dient (Fig. 172, LVIII). Er liefert 10kW Schwingungsleistung. Außer ihm findet man dort noch fast ein Dutzend kleinere Sender dieser Art, zu denen ebenso viele Antennen gehören.

In einer Pyramide sind die verkaufsfähigen und Versuchsmodelle der Röhren für Sende- und Empfangszwecke zusammengestellt (Fig. 173, LXI). Die größte bis jetzt hergestellte Röhre für 5 kW Schwingungsenergie und als Gegenstück die kleinste Verstärker-

Digitized by Google

röhre krönen sie. Es gibt Röhrentypen von 5000 Watt herunter bis zu 10 und weniger Watt. Bei diesen sowohl wie bei den neueren Empfänger bzw. Verstärkerröhren besitzt die Anode zylinderische Form; in ihrer Achse befindet sich die geradlinig ausgespannte Glühkathode und zwischen beiden das Gitter (Fig. 174, LIX). Eine Reihe von Tafeln zeigen den Fabrikationsgang und Teile solcher Röhren.

Einer der wichtigsten Fortschritte auf dem drahtlosen Gebiet ist durch die Braunsche Rahmenantenne gekennzeichnet. Schon im Jahre 1913 gelang es Prof. Braun in Straßburg, unter Zuhilfenahme eines zu einer Spule gewickelten Drahtes das Strahlungsfeld der Funkenstation Eiffelturm zu messen. Die Empfangsenergie war dabei jedoch so gering, daß eine solche Antennenform erst zu einer praktischen Bedeutung gelangte, als es Telefunken möglich wurde, durch Verstärkereinrichtungen das etwa 10000fache der Lautstärke zu erhalten. Die Schaltung ist so, daß die Selbstinduktion der Rahmenspule und die Kapazität eines Drehkondensators auf die Wellenlänge des Senders abgestimmt sind (Fig. 175, LIX). Die Empfangsströme werden in einem Hochfrequenzverstärker, bei dem im Gegensatz zur Niederfrequenzverstärkung die Gleichrichtung der Ströme erst hinter dem Verstärker erfolgt, auf den oben angegebenen Wert gebracht und so dem Telephon zugeführt. Reicht die Empfangsenergie noch nicht aus, so kann vor dem Telephon ein weiterer Niederfrequenzverstärker angeschlossen werden. Unter Zuhilfenahme eines quadratischen Rahmens von 1 m Seitenlänge war man in der Ausstellung imstande, die Zeichen sämtlicher großen europäischen Funkenstationen aufzunehmen, während ein größerer Rahmen von 3,3 m Seitenlänge bereits den Empfang amerikanischer Stationen ermöglichte (Fig. 176 u. 177, LX). Die Hauptvorteile einer solchen Rahmenantenne, wie sie für Empfangszwecke wohl alle anderen Antennenformen verdrängen wird, sind folgende: 1. kleine Abmessungen, so daß der Aufbau größerer Antennenträger sich erübrigt und mehrere Antennenrahmen in ein und demselben Zimmer bequem untergebracht werden können; 2. Störungsfreiheit dieser Rahmen gegeneinander, so daß verschiedene Telegraphisten gleichzeitig, jeder mittels seines Rahmens, eine bestimmte Empfangsaufgabe ausführen können, 3. die Verminderung der Störungen durch atmo-

Digitized by Google

sphärische Verhältnisse, infolge des geringen Streufeldes solcher Rahmen; 4. die Richtfähigkeit dieser Rahmenantennen, die nur dann Schwingungen merkbar aufnehmen, wenn die Rahmenebene in Richtung auf den Sender steht. Denn nur in dieser Lage können die magnetischen Kraftlinien, die den Sender als konzentrische Kreise umgeben, die Rahmenebene durchdringen und in der Rahmenspule Ströme induzieren. Hierbei ergibt sich die Möglichkeit, solche Rahmen zur Richtungsbestimmung von Sendern anzuwenden und die Ausscheidung solcher Störer aus dem Empfang, die sich in einer vom korrespondierenden Sender abweichenden Richtung befinden. Zur Richtungsbestimmung eignen sich die Rahmenantennen vorzüglich. So kann z. B. ein Schiff mit einer solchen kleinen, kaum 1 m Durchmesser betragenden Antenne leicht seinen eigenen Schiffsort genau feststellen, wenn sich an Land zwei der Lage nach bekannte Stationen befinden, die funkentelegraphische Zeichen geben.

Bei seinen allerersten drahtlosen Versuchen, die Slaby auf den langen Gängen der Technischen Hochschule vornahm, fand er Ergebnisse*), die fast 25 Jahre später erst zu zwei neuen Anwendungsgebieten der Hochfrequenztechnik führten. Slaby bemerkte damals, daß die elektrischen Wellen des Senders einer auf dem Boden liegenden und von ihm isolierten Drahtleitung bevorzugt folgten und bezeichnete dies als eine „Sprachrohrwirkung". Wenn auch die elektrischen Wellen mit derselben Geschwindigkeit wie die des Lichtes den Raum durchwandern, so haben sie doch nicht die volle Freiheit der Ausbreitung im Raum wie diese. Überall, wo ein elektrischer Leiter in der Nähe ist, gleiten sie mit besonderer Vorliebe an diesem entlang. Ihre halbfrei genannte Strahlung ist demnach auch an die leitende Erdoberfläche gebunden und folgt deren Krümmung. Diesem Umstande verdanken wir ja gerade die Möglichkeit der drahtlosen Telegraphie auf große Entfernungen. Damit stimmt auch die Beobachtung überein, daß Flüsse und Wasseradern zwischen Sender und Empfänger dessen Lautstärke erhöhen.

Das eine Verwendungsgebiet besteht darin, daß man die drahtlose Telegraphie der Linientelegraphie nutzbar macht, indem

*) Siehe das Kapitel: „Die Anfänge der Funkentelegraphie", Seite 125 u. f.

Digitized by Google

man das drahtlose Telegramm, oder das drahtlos gesprochene Wort nicht von einer Senderantenne ausstrahlt, sondern vom Sender durch eine Kopplungsspule auf den Leitungsdraht der Linientelegraphie überträgt. An der Empfangsstelle kann man dann außer den über diese Linie laufenden Telegrammen oder Gesprächen auch das Hochfrequenz- um nicht zu sagen drahtlose Telegramm bzw. Gespräch, einem besonderen Empfänger, der natürlich auf den Sender abgestimmt sein muß, zuführen. Natürlich genügt wegen der Sprachrohrwirkung eine viel geringere Senderleistung zur Übertragung, selbst auf weite Entfernungen, als bei Raumstrahlung. Man kann heute sogar mehrere solche hochfrequente Nachrichten, von verschiedenen Sendern stammend, und für verschiedene zugehörige abgestimmte Empfänger bestimmt, über den gleichen Draht leiten, der diese an seiner Oberfläche und den Linienstrom in seinem Innern leitet. Der Zweck dieser Einrichtung ist, vorhandene Anlagen besser auszunutzen, da die Kosten neuer bis ins Uferlose gestiegen sind. Man nennt diese Abart der drahtlosen Telegraphie leitungsgerichtete Mehrfach-, Hochfrequenz-Telegraphie oder -Telephonie. Sie ist in Deutschland zurzeit u. a. zwischen Berlin und Hannover bzw. Frankfurt a. Main, Hamburg und Stralsund in Betrieb. Die Benutzer der Anlage merken es natürlich nicht, ob sie sich der alten Leitungstelephonie, oder der ihr überlagerten Hochfrequenztelephonie bedienen.

Auch zur telephonischen Verbindung zweier Elektrizitätswerke unter Benutzung der Hochspannungs-Starkstromleitung zwischen ihnen kann man die, dieser überlagerten, telephonisch beeinflußten Hochfrequenzschwingungen ohne alle Nachteile benutzen. Man spart damit nicht nur eine besondere telephonische Drahtverbindung, sondern erzielt auch bessere Verständigungsmöglichkeiten, weil eine Beeinflussung der Telephonleitung durch den Starkstrom fehlt.

Digitized by Google

12.

Die Großstation Nauen/Geltow.

(Siehe das Titelbild.)

Nicht allzuweit vom Orte der ersten klassischen Versuche auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie steht heute die größte deutsche Radiostation, eine der größten der Welt. Es ist dies die Station Nauen/Geltow, die mit der dazugehörigen Betriebszentrale von einer Tochtergesellschaft Telefunkens, der „Drahtloser Überseeverkehr A.-G. Transradio" betrieben wird.

Man macht nicht bloß aus der Not eine Tugend, wenn man jetzt sagt, die drahtlose Telegraphie vermag im Überseenachrichtenverkehr das Kabel zu ersetzen, denn ihre Leistung ist der eines Unterseekabels überlegen. Ganz abgesehen davon, daß uns durch die Ereignisse der ersten Kriegstage unser Kabelnetz genommen und verschleppt wurde, das wir dann nach dem Friedensvertrag endgültig verloren haben. Die Höchstleistung, die zurzeit ein Kabel aufzubringen vermag, beträgt aus physikalischen Gründen etwa 30 Wörter pro Minute. Bei der drahtlosen Telegraphie kann man dagegen unter Ausnutzung zweier Gesichtspunkte die Leistung bisweilen sogar auf etwa 80—100 Wörter pro Minute steigern, und es ist sicher, daß, wenigstens zu günstigen Jahres- und Tageszeiten, diese Steigerung auch an der erwähnten Grenze nicht halt machen wird.

In wirtschaftspolitischer Beziehung haben wir die Bedeutung unserer Funken-Großstationen schon während des Krieges vollauf zu würdigen Gelegenheit gehabt. So lange die Vereinigten Staaten uns mehr oder weniger neutral gegenüber standen, diente die drahtlose Telegraphie als einzige Brücke über den feindbundlichen Ring hinweg dem politischen und wirtschaftlichen Verkehr; ganz abgesehen von der Verbindung mit den vielen weit entlegenen

Digitized by Google

Kriegsschauplätzen, z. B. in den Kolonien und mit den Kreuzern auf See.

Nach Kriegsbeendigung und lange vor dem Friedensschluß mit den Vereinigten Staaten begann der Nachrichtenverkehr auf drahtlosem Wege mit Amerika als Beweis für dessen dringendes Bedürfnis wieder aufzuleben und heute ist mit den Vereinigten Staaten und über sie hinaus ein starker Funkspruch-Wechsel im Gange. Zwar ist es jetzt auch wieder möglich, durch Kabel mit Übersee zu verkehren, jedoch müssen in diesem Falle sämtliche Telegramme über England gehen, wo sie umtelegraphiert werden. — Ob das Telegraphengeheimnis dabei immer gewahrt bleibt, ist eine andere Frage. Höchstens in bezug auf die Geheimhaltung könnte das Kabel noch überlegen scheinen. Bekanntlich ist der funkentelegraphische Verkehr derart, daß nicht nur die Aufgabe- und die Aufnahmestation den Wortlaut des Telegramms kennen, sondern er kann an jedem Punkt der Erde, der sich innerhalb des Reichweitenkreises der Station befindet, falls geeignete Empfangsapparate vorhanden sind, mitgehört werden. Dagegen schützt nur eine zuverlässige Chiffrierung, bis sie in absehbarer Zeit durch verbesserte Methoden wie Schnelltelegraphie mit Typendruckern oder in Verbindung mit Kryptographen ersetzt werden wird. Überlegen ist die drahtlose Telegraphie der Kabeltelegraphie auch in bezug auf die Anlagekosten, die für zwei Stationen nur ungefähr die Hälfte betragen, wie für das Kabel. Die Betriebskosten sind unter Zugrundelegung gleicher Wörterleistungen zwar für die Funkenstationen relativ höher, infolge der besseren Ausnutzungsmöglichkeit der Funkverbindung jedoch tatsächlich geringer. So ist z. B. bereits heute das Telegramm auf dem Funkwege um ca. 20 % billiger als auf dem Kabelweg.

Außer der Station Nauen steht im drahtlosen Überseeverkehr Deutschlands noch die Station Eilvese, die gleichfalls von Transradio betrieben wird, während die der Reichspost gehörende Station Königswusterhausen dem innerdeutschen und -europäischen drahtlosen Verkehr dient.

Die Station Nauen hat im Laufe der 15 Jahre ihres Bestehens eine Reihe von Entwicklungsstadien durchlaufen, in denen sich

Digitized by Google

die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie selbst widerspiegelt. Ursprünglich mit einem Funkensender ausgestattet, dessen Energiequelle eine Dampflokomobile war, konnten die in Morsezeichen erfolgenden Funkenentladungen, ähnlich dem Geknatter eines Maschinengewehrs, von jedem Passanten der Chaussee Nauen—Kremmen gehört und gesehen werden. Von den Knall-Funken zur Erzeugung der in der drahtlosen Telegraphie erforderlichen, sehr schnell schwingenden Wechselströme in der Antenne ging man mit der Verbesserung der drahtlosen Technik bald ab; die Entladungen der Funkenstrecke beim später in Nauen verwandten Tönenden Lösch-Funkensystem wurden fast unhörbar, und nur das Hämmern der gewaltigen Tastrelais im Rhythmus der Morsezeichen gab dem Besucher noch Kunde vom Arbeiten der Station. Heute, wo die drahtlose Telegraphie keine Funkentelegraphie im vollen Sinne des Wortes mehr ist, stehen in Nauen Hochfrequenzmaschinen, deren Bauart von den Wechselstromgeneratoren eines Elektrizitätswerkes kaum wesentlich abweicht.

Bis vor kurzem konnte man in der Station Nauen wenigstens noch die Telegraphenbeamten sehen, die, an ihren Tischen sitzend, entweder die Morsetasten oder die Schnellsender bedienten. Ein anderer Beweis, daß der gewaltige Organismus seine Wellen über den ganzen Erdball hin verbreitet, war nicht weiter wahrzunehmen. Heute sitzt der Telegraphist in der Transradio-Betriebszentrale, Berlin, und steuert die Nauen-Sender über Telegraphenleitungen. Es ist in Nauen menschenleer geworden, und wenn nicht gerade Versuche und eine geplante Vergrößerung der Station Personal an Ort und Stelle erforderten, so könnte man in dem gewaltigen Gebäude mit dem herrlichen Maschinensaal (Fig. 178, LXII) das Professor Muthesius geschaffen hat, lange Zeit herumgehen, ohne ein lebendes Wesen zu treffen. Nauen ist ein eigenartiges, riesiges Elektrizitäts-Umformerwerk mit gewaltigen Turmbauten, aus deren Drahtharfen die Faust eines Giganten die Wellen in den Äther schleudert.

In demselben Maße wie an den Nauener Sendern eine äußerliche Stille eingetreten ist, sind die Empfangseinrichtungen von

Digitized by Google

Geltow bei Potsdam laut geworden. Geltow ist der auf größte Sensibilität gebrachte Empfindungsnerv der Radiostation, der im Berliner Zentralorgan gewollte Wirkungen auslöst. Hörte man früher in Nauen die gefunkten Signale, so hört man jetzt in Geltow die aus Amerika ankommenden. Dabei handelt es sich in Nauen um eine Leistung von 400 Kilowatt, die die Antenne in den ganzen Raum ausstrahlt, während in Geltow naturgemäß die aus Amerika ankommenden Zeichen nur noch den milliardsten Teil eines Watt stark sind. Moderne Verstärkungseinrichtungen sind es, die diesen geringfügigen Werten neue Kraft zuführen, so daß sie noch bis auf 20, 30 m Entfernung von der Empfangseinrichtung gehört werden können. Dies ist nämlich erforderlich, wenn die Zeichen zur automatischen Niederschrift verwendet werden sollen, wie wir es von der Drahttelegraphie gewöhnt sind, und wie es in der drahtlosen Telegraphie schon vor 25 Jahren üblich gewesen ist. So bewegen sich die technischen Entwicklungen manchmal scheinbar im Kreise. Da aber der heutige Schreibempfang dem vor 25 Jahren unendlich überlegen ist, muß der erwähnte Kreis eher mit einer Spirale von gewaltiger Steigung verglichen werden.

Die von den praktischen Verkehrsbedingungen geforderte hohe Wörterleistung einer drahtlosen Station wie Nauen zwang vom Telegraphieren der Morsezeichen mit der gewöhnlichen Handtaste abzugehen, wenn immer die Empfangsverhältnisse der Gegenstätten dies zulassen. Selbst der geübteste Telegraphist kann nicht mehr als 25 Wörter (zu je 5 Buchstaben) pro Minute tasten. Es sind darum Schnellsendeeinrichtungen eingeführt worden, bei denen ein Papierstreifen durch eine Art von Schreibmaschine eine Lochschrift erhält, die den Morsezeichen entspricht. Diese Streifen werden dann von einem Elektromotor mit großer Geschwindigkeit an Tasthebelchen vorbei bewegt, die durch die Löcher greifen und so unter Zuhilfenahme sinnreicher Relaiseinrichtungen die Wellen von der großen Energie, die Nauen eigentümlich ist, aussenden. Dementsprechend müssen natürlich auch am Empfänger Vorrichtungen vorhanden sein, die solche Wörtergeschwindigkeiten noch zu registrieren vermögen. Der Telegraphist, der mit

Digitized by Google

dem umgeschnallten Telephon am Ohr die pfeifenden Zeichen in Buchstaben überträgt und niederschreibt, kommt auch über 25 Wörter pro Minute nicht hinaus, er ist deshalb für die Zeiten, in denen Schnellverkehr möglich ist, durch mechanische Einrichtungen ersetzt worden.

Die zweite Bedingung zum wirtschaftlichen Verkehr, die erfüllt werden mußte, besteht in der räumlichen Trennung des Senders vom Empfänger. Bei kleineren Stationen ist es noch heute üblich Sender und Empfänger abwechselnd an die gemeinsame Antenne zu legen, so daß von den 24 Stunden eines Tages bestenfalls während 12 Stunden gesandt, und während der andern 12 Stunden empfangen werden kann. Die Trennung von Sender und Empfänger, und die Errichtung je einer besonderen Antenne für beide gibt die Möglichkeit, 24 Stunden am Tage zu senden und ebensolange zu empfangen. Nun ist aber, wie schon erwähnt, die Senderenergie der Energie der ankommenden Morsezeichen, z. B. aus Amerika, so ungeheuer überlegen, außerdem sind die Empfangseinrichtungen so empfindlich, daß es besonderer Kunstgriffe bedarf, um den Empfänger selbst in 30 km Entfernung vom Sender noch vor dessen Wucht zu schützen. Darum gibt man der Empfängerantenne eine besondere Form. Die Senderantenne besteht aus vielen langen Drähten, die möglichst hoch in die Luft geführt sind und deshalb von hohen Masten getragen werden müssen. Die große Antenne für den Amerikaverkehr in Nauen ist z. B. 1200 m lang und hängt zwischen Masten, die 125–260 m hoch sind (Fig. 179, LXII). Gleichzeitig wird übrigens mit einer zweiten Antenne auch nach Amerika oder Europa gesendet, deren Masten 150 m hoch sind. Eine dritte und vierte Antenne dienen ausschließlich dem Europaverkehr. Bedeutende Vergrößerungen der Antennen- und Mastanlagen stehen bevor; gilt es doch bald den direkten Verkehr mit Argentinien (11 000 km) aufzunehmen, wo eine Gegenstation der Vollendung entgegengeht. Der niedrigste Mast wird nach dem Umbau eine Höhe von 180 m haben.

Die Gegenstation in den Vereinigten Staaten für den Verkehr mit Nauen und Eilvese ist die auf Long Island errichtete Zentralstation der Radio Corporation of America in Rocky Point bei New York.

Digitized by Google

Außer diesem Amerikaverkehr ist aber auch eine funktelegraphische Verbindung mit Moskau, Bukarest, Rom und Aranjuez in Spanien eingerichtet. Hinzu kommt noch der sogenannte Ozeandienst, d. h. ein Nachrichtendienst für Schiffe auf See, der an das internationale Zeitsignal um 1 Uhr nachts und um 1 Uhr nachmittags angegliedert ist. Von der genannten Amerikastation aus findet schließlich die Weiterleitung der Telegramme nach den andern Ländern der Erde statt, soweit diese die Nauener Nachrichten nicht direkt aufnehmen. In die Lage hierzu versetzt sie der Umstand, daß die Reichweite von Nauen 20000 km beträgt; damit gibt es auf der Erde keinen Punkt mehr, an dem die Nauener Wellen nicht aufnehmbar wären. Was die Wörterleistung der Transradiostationen betrifft, so sei erwähnt, daß die Rekordziffer von 50000 pro Tag schon erreicht worden ist.

In der zu Nauen gehörigen Empfangsanlage bei Alt-Geltow steht eine Rahmenantenne, und zwar ein quadratischer auf die Spitze gestellter Rahmen mit mehreren Drahtwindungen, gehalten von einem 40 m hohen Holzmast. Der Rahmen ist so aufgestellt, daß er selbst gegen die kräftigen Wellen von Nauen, dem er seine Fläche zuwendet, unempfindlich ist. Aus allen anderen Richtungen des Raumes dagegen, und besonders aus der Richtung der Windungsebene, die Amerika zugewandt ist, nimmt er die Zeichen auf.

Dem Wanderer, der vielleicht zurzeit der Baumblüte durch das idyllische Geltow geht, fällt zurächst ein 110 m hoher Eisengittermast auf, den einer der Stürme des Frühlings 1922 seiner längst überflüssig gewordenen Rahmenantenne beraubt hat. An seinem Fuße steht ein Holzhaus, das als Laboratorium von Telefunken dient. Näher am Weg sieht der Beschauer einen achteckigen, etwa 4 m hohen Rahmen neben einem ausgedienten Möbelwagen, der ursprünglich die Empfangsstation Geltow darstellte. Etwas abseits steht der schon erwähnte Holzmast von 40 m Höhe und das Holzgebäude der Transradio-Betriebsstation Geltow (Fig. 180, LXI). Entsprechend der rasch fortschreitenden drahtlosen Technik wird selbst dieser Rahmen kaum noch benutzt. Ein ähnlicher, wie er neben dem Möbelwagen steht, ist im Gebäude und dient dem Amerikaverkehr. Eine Reihe

Digitized by Google

kleinerer Rahmen, ebenfalls von außen nicht sichtbar, umgeben ihn (Fig. 181, LXIII) und dienen dem Verkehr mit Spanien, Italien, Rumänien und Rußland. Auch in diesem Betriebsgebäude ist das Leben scheinbar erloschen. Zwar werden die Empfangsapparate noch zuweilen nachgestimmt und eingestellt, die empfangenden Beamten aber sitzen in Berlin in der Betriebszentrale von Transradio an denselben Tischen wie ihre sendenden, d. h. tastenden Kollegen. Dadurch ist die Möglichkeit zu einer weiteren Beschleunigung des Verkehrs gegeben, wie leicht einzusehen ist. Sollte nämlich einmal der Wortlaut eines Funktelegrammes aus Amerika verstümmelt aufgenommen werden, wie dies an gewitterschwülen Tagen schon vorkommen kann, so unterbricht der sendende Beamte sofort den Text seines Telegramms, der Amerikaner auf der Gegenstation stutzt, und wiederholt sogleich das verstümmelte Wort. Die Betriebszentrale ist also das eigentliche Telegraphenamt, in dem sich unter Überwindung von Zeit und Ort der funktelegraphische Weltverkehr abspielt; das Herz und Gehirn des gesamten Organismus (Fig. 182, LXIII).

In der Nähe des historischen Möbelwagens befindet sich ein etwa 10 m hohes turmartiges Gebäude von achteckigem Querschnitt, das die neueste Empfangseinrichtung im Amerikaverkehr enthält. Ein 6 m hoher Rahmen, drehbar um eine vertikale Achse, nimmt den oberen Teil ein. Dadurch ist der Rahmen vor den Witterungsunbilden geschützt, während die elektrischen Wellen die im Fachwerkbau gehaltenen Wände so gut durchdringen, als wenn sie nicht vorhanden wären. Unter dem Rahmen ist ein vierfach mit Eisen gepanzerter Raum, der die hochempfindliche Empfänger- und Verstärkereinrichtung aufnimmt. Die Panzerung hat den Zweck, eine vom Rahmen unabhängige direkte Einwirkung der Wellen von Nauen auf die Spulen der Apparate auszuschließen. Diese werden vermittelst einer Telephonleitung mit der Transradio-Betriebszentrale verbunden. Die alte Einrichtung wird dann nur noch zu Zeiten starken Verkehrs in Verbindung mit einer zweiten amerikanischen Sendestation in Gebrauch genommen.

Es ist sehr häufig die Frage aufgeworfen worden, ob es nicht

Digitized by Google

zweckmäßiger wäre, an Stelle des in gewissem Sinne umständlichen Verfahrens bei der Telegraphie auch in Nauen auf die drahtlose Telephonie überzugehen. Abgesehen davon, daß die Reichweiten telephonierender Stationen bei gleicher Antennenleistung nur etwa den 3. bis 4. Teil wie bei Telegraphie betragen, wird das drahtlos gesprochene Wort die Telegraphie in absehbarer Zeit auch aus andern Gründen kaum ersetzen können. Sicher ist, daß die Telephoniereichweite von Nauen, die zurzeit etwa 4600 km beträgt, noch wesentlich zunehmen wird, aber ein drahtloses Gespräch nach Amerika dürfte wegen der großen, während der ganzen Gesprächsdauer beanspruchten Energie den Verkehr anderer Stationen wesentlich mehr stören als bei Telegraphie und auch viel teurer sein. Auch ist die Zeitdifferenz von 6 Stunden zwischen Amerika und Europa hinderlich, da nur während weniger Tageszeiten hier wie dort gleichzeitig Bureaustunden stattfinden.

* * *

Wenn Altertum und Mittelalter von der Sphärenmusik träumten, und selbst Goethe im Faust von der, nach alter Weise in Brudersphären Wettgesang tönenden Sonne spricht, so ahnte wohl auch dieser Geistesheros nicht, daß es dergleichen wohl geben mag. Den von uns bewußt erregten Ätherwellen, die wir am Empfänger der drahtlosen Telegraphie durch geniale Kunstgriffe in musikalische Töne beliebiger Höhe umformen, stehen sicherlich andere, gewaltigere, zur Seite, die bloß noch nicht genügend erforscht sind. Sie gehen von den ungeheuren Kräften der Natur aus, ähnlich jenen, die wir Störungen durch die Atmosphäre nennen, und die oft in unliebsamer Weise unsere Signale unleserlich machen. Niemand wird die Behauptung wagen, daß nur unsere Erde ihr Zentrum sei, die, uns groß scheinend, vor der Erhabenheit des Weltalls verschwindet. Elektrische Einwirkungen unserer Sonne sind auf der Erde nachweisbar; aber selbst der Sonne ist im Universum, außer höchstens für uns, keine allzu große Bedeutung beizumessen unter den vielen anderen und größeren Sternen. Ungeheuer aber und unfaßbar sind dort die Erscheinungen im Äthermeer, dem elektrischen Ozean. Begnügen wir

Digitized by Google

uns, weil wir müssen, mit den Gestaden desselben auf unserem Planeten und zwingen wir seine Fluten so gut wir es vermögen in unsere Dienste, unter anderem für den Gedankenaustausch auf große Entfernungen.

Das Telegramm ist der Gedankenaustausch-Ersatz über die Reichweite der menschlichen Sprache hinaus; kein Wunder, daß man versucht, die zeitsparende Telephonie an seine Stelle zu setzen. Das Verlangen nach einer Fernmeldeeinrichtung ist so alt wie die menschliche Kultur, ihre Geschichte beginnt im Altertum. Daß die drahtlose Telegraphie weit älter als die Linientelegraphie ist, rührt von der glücklichen Wahl her, die getroffen wurde, die Elektrizität in den Dienst der Fernmeldetechnik zu stellen, jene geheimnisvolle dienstwillige Naturkraft, die wir im XIX. Jahrhundert auf unseren „Entdeckungsfahrten in den elektrischen Ozean" als an den Draht gefesselt kennen lernten. Erst die Versuche von Heinrich Hertz haben uns den Beweis erbracht, daß wir, wie vor ihm nur vermutet wurde, ihre Spuren bis weit ins Äthermeer verfolgen können, wo sie uns zu einer drahtlosen Telegraphie dienstbar wird, deren Anfänge, Entwicklung und heutigen Stand wir in diesem Buche kennen gelernt haben.

Wissenschaft und Technik, mit hervorragendem deutschen Anteil, haben sich bisher bei allen Leistungen der verhältnismäßig jungen Elektrotechnik die Hand gereicht; warum sollen sie dies nicht weiter tun? Sie werden dann nach Spengler den Weg weisen zu einer Möglichkeit der Abweisung des Gespenstes der Zukunft: dem Untergange der abendländischen Kultur. Nur durch eine fortwährende Steigerung im praktischen Denken, im potenzierten Willen zur Tat, zur Höchstleistung von Wissenschaft und Technik sei diese Gefahr zu bannen.

Digitized by Google

Anhang.

Chronik der drahtlosen Telegraphie.

1831. Faraday entdeckt die elektro-magnetische Induktionserscheinung zwischen benachbarten Stromkreisen.

1853. William Thomson weist theoretisch die Notwendigkeit des Auftretens elektrischer Schwingungen nach.

1858. Feddersen erbringt den Nachweis dieser Schwingungen auf experimentellem Wege.

1867. Maxwell stellt die elektro-magnetische Lichttheorie auf.

1879. Hughes erzielt zufällig eine Übertragung auf 400 m zwischen einer Funkenstrecke und Mikrophonkontakten.

1887. Hertz liefert den experimentellen Beweis, daß sich die elektrischen Schwingungen wie die Lichtwellen ausbreiten.

1892. Branly lernt die Fritterwirkung kennen.

1897. Versuche Marconis in England, denen Professor Slaby beiwohnte (5 km). Slabys eigene Versuche, die zu einer Reichweite von 21 km führten.

1898. Versuche Professor Brauns in Straßburg. Sein Patent auf den geschlossenen Schwingungskreis.

1899. Slabys Versuche mit der Kaiserlichen Marine ergaben Reichweiten bis zu 48 km. Braun richtet die drahtlose Verbindung zwischen Cuxhaven und dem Feuerschiff „Elbe" ein.

1900. Slaby führt die gleichzeitige Aufnahme zweier Funkentelegramme mit einer Antenne bei verschiedener Abstimmung vor. Erste öffentliche Station auf Borkum.

1901. Slabys Multiplikator-Abstimmspule. Dr. Köpsels Mikrophon-Detektor. Braun ersetzt die Erde durch das Gegengewicht. Nach dem System Slaby-Arco werden zwischen Cuxhaven und dem Dampfer „Deutschland" Telegramme bis 150 km gewechselt.

1902. Resonanz zwischen Maschinen- und Schwingungskreis (Resonanz-Induktor) Schlömilchs elektrolytische Zelle. Vorkonferenz für die internationale Regelung der drahtlosen Telegraphie in Berlin. Poulsen erzeugt mittels des Lichtbogens ungedämpfte Schwingungen.

1903. Gründung der Telefunken-Gesellschaft durch Verschmelzung der Systeme Slaby-Arco (AEG.) und Professor Braun und Siemens & Halske. Einführung der losen Empfangskopplung. Wellenmesser von Franke-Dönitz.

1904. Zwischenkreisschaltung am Empfänger. Im Russisch-Japanischen Kriege und im Herero-Aufstand bewähren sich die Telefunken-Stationen.

1905. Die erste Hochfrequenzmaschine (für Meßzwecke).

1906. Einführung des Detektorenempfangs; der Fritter wird endgültig verlassen. Telephonieschaltung mit wassergekühlten Telefunken-Bogenlampen. Beginn des Baues der Großstation Nauen. Drahtlose Telephonie Berlin—Nauen. Erste internationale Konferenz für Funkentelegraphie in Berlin.

Digitized by Google

1907. Beginn der Versuche mit den tönenden Löschfunken nach Professor Wien.

1908. Durchbildung der tönenden Löschfunkenstrecke.

1909. Vergrößerung der Station Nauen auf 30 kW Antennenleistung. (Reichweite 4600 km).

1910. Reichweiten zwischen Nauen und einem Dampfer bis 5000 km. Erste Versuche mit Luftschiffstationen. Hochfrequenzmaschine nach Goldschmidt.

1911. Bau eines neuen Stationsgebäudes in Nauen; Errichtung eines 200 m hohen Mastes und Vergrößerung des tönenden Löschfunkensenders auf 80/100 kW Antennenleistung. Aufstellung eines Hochfrequenzmaschinensenders nach Telefunken. Versuche mit der Kathodenstrahlröhre nach Lieben. Hochfrequenzverstärker. Beginn des Baues der amerikanischen Gegenstation zu Nauen, Sayville. Bau einer großen Empfangsantenne in Kamina (Togo). Errichtung eines Stationsnetzes in Spanien und Marokko, im Innern von Peru, Mexico und Niederländisch-Indien.

1912. Beginn des Baues der Großstation Kamina (Togo). Erstes Zusammenarbeiten von Funkentelegraphie und Kabel in der Südsee nach Errichtung von Telefunkenstationen dortselbst. Zweite Internationale Funkentelegraphische Konferenz in London.

1913. Erteilung der Reichskonzession an Telefunken zur Herstellung und zum Betrieb von Großstationen in Afrika, zur Verbindung mit Deutschland. Errichtung eines Mastes von 260 m Höhe in Nauen. Telephonie auf 600 km mit der Hochfrequenzmaschine dortselbst. Schwingungserzeugung durch Rückkopplung mit Kathodenröhren. Einführung der Empfangsverstärkung.

1914. Aufstellung eines Hochfrequenzmaschinensenders für 200 kW in Nauen. Nach Zerstörung der deutschen Kabel bei Kriegsbeginn funkentelegraphische Verbindung Nauen—Togo, Nauen—Windhuk. Kommerzieller Verkehr zwischen Deutschland und Amerika. Einführung der Hochvakuum-Kathodenröhre.

1915. Röhrensender für Telephonie.

1916. Errichtung einer Empfangsstation auf Java. Erster Rahmenempfang von Übersee.

1917. Errichtung eines Nauen-Empfangsdienstes in Java (11 000 km), Peking (10 000 km), Buenos Aires (12 000 km). Vergrößerung der Station Nauen zum Doppelsendebetrieb. Senderleistung 400 kW.

1918. Reichweite von Nauen 18 000 km (Neu-Seeland). Tourenkonstanthaltung für Hochfrequenzmaschinensender.

1919. Einführung der Hochfrequenztelegraphie und Telephonie auf Hochspannungs- und Telegraphenleitungen. Einführung der Schnelltelegraphie. Wiederaufnahme des Amerikaverkehrs mit Nauen. Errichtung der Duplexempfangsanlage Geltow. Schreibempfang über 11 000 km. Ausbau des deutschen Reichsfunknetzes.

1920. Bau von Röhrensendern bis 10 kW. Übernahme und Einweihung des Neubaues Nauen durch „Transradio".

1921. Drahtlose Telephonie mit Röhrensender bis 3600 km und mit der Hochfrequenzmaschine bis 4500 km.

1922. Schnelltelegraphie von 120 Wörtern/Minute nach Amerika, Rekordleistung von 50 000 Wörtern/Tag in Nauen. Eröffnung der Transradio-Betriebszentrale.

Digitized by Google

Geheimer Regierungsrat Prof. Dr. Dr.-Ing. Adolf Slaby.

(Siehe das Porträt.)

Adolf Slaby wurde am 18. April 1849 zu Berlin als dritter Sohn eines schlichten Buchbindermeisters geboren. Er erwies sich schon in der Realschule als ein ungewöhnlich begabter Schüler, mit besonderem Interesse für Mathematik und Naturwissenschaften. Nach der mit Auszeichnung bestandenen Reifeprüfung studierte er an der Berliner Gewerbeakademie, der Vorläuferin der Technischen Hochschule, wobei er sich durch Unterrichtserteilung die Geldmittel zum eigenen Studium verdienen mußte. Bei seiner ausgesprochenen Absicht sich zum Hochschulprofessor auszubilden, hatten außer seinen fachwissenschaftlichen Lehrern auch noch solche der Kunstgeschichte und Ästethik hervorragenden Anteil an seiner Entwicklung. Als häufiger und gern gesehener Gast bei diesen beteiligte sich Slaby viel an Zusammenkünften zur Abhaltung freier Vorträge sowie an der Abfassung von Gedichten und Liedern. Ernst und fleißig bei seiner Arbeit, begeistert für alles Schöne in Kunst und Literatur, war er ein fröhlicher und guter Kamerad, der die oft stürmischen Akademikerversammlungen mit ebenso heiterer Ruhe wie vornehmer Sicherheit leitete.

Nach Vollendung seiner Studien promovierte Slaby in Jena zum Doktor der Philosophie und wirkte 1873 bis 1882 als Lehrer der Mathematik und Mechanik an der Kgl. Gewerbeschule zu Potsdam. 1886 habilitierte er sich auch als Privatdozent an der Berliner Gewerbeakademie, wo er über Maschinenlehre las und und die Versuche anstellte, aus denen sich später seine bedeutenden Arbeiten über die Theorie der Gasmaschinen ergeben haben.

Werner von Siemens' industrielle Erfolge mit der Starkstromtechnik und dessen persönlicher Verkehr mit Slaby veranlaßten letzteren zu eifrigen Privatstudien auf diesem Gebiet, die ihre Krönung in einem Lehrauftrag für Elektrotechnik an der Charlotten-

Digitized by Google

burger Technischen Hochschule fanden, wo er als Professor mit der Einrichtung des Elektrotechnischen Laboratoriums beauftragt wurde. Dieser Aufgabe widmete er sich mit freudigem Eifer, den er auf alle seine Mitarbeiter bis herab zum Mechaniker übertrug und die er auch in seinen Vorlesungen zum Ausdruck brachte. Selten war ein Hochschullehrer bei seinen Studierenden so beliebt wie Slaby, dem es gelang vom Herzen zum Herzen zu sprechen und die eigene Begeisterung auch auf die Zuhörer zu übertragen. Die Zahl derselben wuchs von Jahr zu Jahr und eine große Anzahl tüchtiger Ingenieure ist aus ihr hervorgegangen.

Für die Beziehungen, die der Kaiser zu Slaby aufnahm, ist charakteristisch, daß er diesen aufforderte, unmittelbar Berichte über wichtige Vorgänge auf allen Gebieten der Technik einzureichen und jederzeit mündlich darüber vorzutragen. Dieses Verhältnis, das Slaby häufig viel Mühe und Zeit kostete, hat auch auf die Entwicklung der Funkentelegraphie befruchtend gewirkt. Nicht nur, daß der Kaiser durch Zeitungsausschnitte Slaby zur Wiederholung von Marconis Versuchen angeregt hat, sondern er stellte ihm auch die Parkanlagen zu Potsdam, sowie genügende Hilfskräfte zur Verfügung. 1898 ernannte er den Geh. Regierungsrat Professor Dr. Adolf Slaby als den „berufensten Vertreter des Polytechnikums" zum Mitglied des Herrenhauses.

Slaby gehörte außerdem dem Patentamt als Mitglied an, ferner der technischen Deputation für Gewerbe und der Akademie des Bauwesens. Lange Zeit redigierte er die Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes. Außerdem hat er dem Elektrotechnischen Verein und dem Verband deutscher Elektrotechniker, deren Mitbegründer er war, als Vorsitzender und Ausschußmitglied bedeutende Dienste geleistet. Auch dem Verein Deutscher Ingenieure hat er als Vorsitzender erfolgreich angehört.

Noch bedeutender als seine Arbeiten auf dem Gebiete der Gasmaschinen sind die in diesem Buche ausführlich behandelten funkentelegraphischen Forschungen Slabys. Seine Abhandlung „Die Funkentelegraphie", die bereits im Jahre 1897 erschienen und im Kapitel 5 wiedergegeben ist, war überhaupt das erste Werk über

Digitized by Google

dieses Gebiet. Mit einer Telegraphierentfernung von 21 km stellte er für kurze Zeit den Weltrekord auf. Durch seine meisterhafte Darstellungskunst, die an sich schwierige und damals allen unfaßbare Materie zu behandeln, machte er es auch den Technikern möglich, auf dem Boden der drahtlosen Telegraphie weiter zu arbeiten. Die praktische Tätigkeit des Ingenieurs schätzte er stets höher als die des theoretischen Physikers. Gewissen technischen Einzelheiten wandte Professor Slaby besonderes Interesse zu, so z. B. dem Fritter, der ihm ein Jahr wertvolle Arbeitszeit kostete. Später beschäftigte er sich mit den Vorgängen im Antennen- und Erregerkreis, in denen er die Ursachen der Mehrwelligkeit des gekoppelten Senders studierte; es gelang ihm sogar, den Sender zu einem einwelligen zu machen. Seine Forschungen wurden jedoch durch einen anderen Weg, den die Entwicklung der drahtlosen Telegraphie beschritt, die Stoßerregung und die Verwendung der Löschfunken, überholt. Zur Analyse der Schwingungsvorgänge entwickelte er den unter dem Namen „Slabystab" bekannten Wellenmesser, der aus seiner Multiplikationsspule hervorgegangen ist.

Viele Anregungen und Gedanken Slabys leben auch heute noch in den modernen Anordnungen der drahtlosen Telegraphie fort, besonders ist seine Entdeckung der bevorzugten Weiterleitung der hochfrequenten Wellen längs einer Leitung, auf der die Mehrfachtelegraphie beruht, nach langer Vergessenheit zu einem wichtigen Anwendungsgebiet geworden. Sie sichern ihm ein unvergeßliches Denkmal, als einem der großen Pioniere in der Entwicklung der drahtlosen Telegraphie, so daß auch von ihm gesagt werden kann: „Es kann die Spur von seinen Erdentagen nicht in Äonen untergehn."

Slaby war ein glückliches und harmonisches Familienleben vergönnt, dem Sohn und Tochter entsprossen sind, das ihm auch seine beiden letzten Lebensjahre erträglich machte. Im Winter 1910/11 war er, beim Kaiser in Hubertusstock weilend, von einem Schwächeanfall betroffen worden, von dem er sich nie wieder erholte; am 6. April 1913 erlöste ihn ein sanfter Tod von schwerem Leiden.

Gedruckt bei A. W. Hayn's Erben, Potsdam

Digitized by Google

Prof. A. Slaby †

Digitized by Google

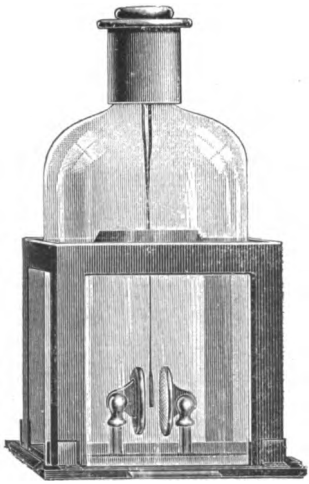


Fig. 1 (Zu S. 10)

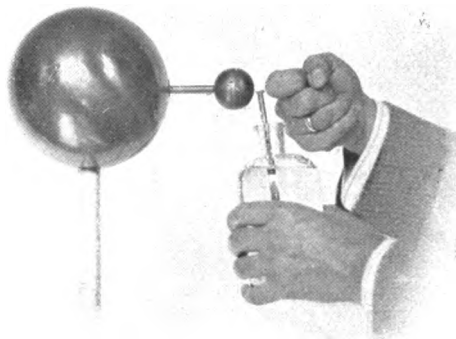


Fig. 2 (Zu S. 14)

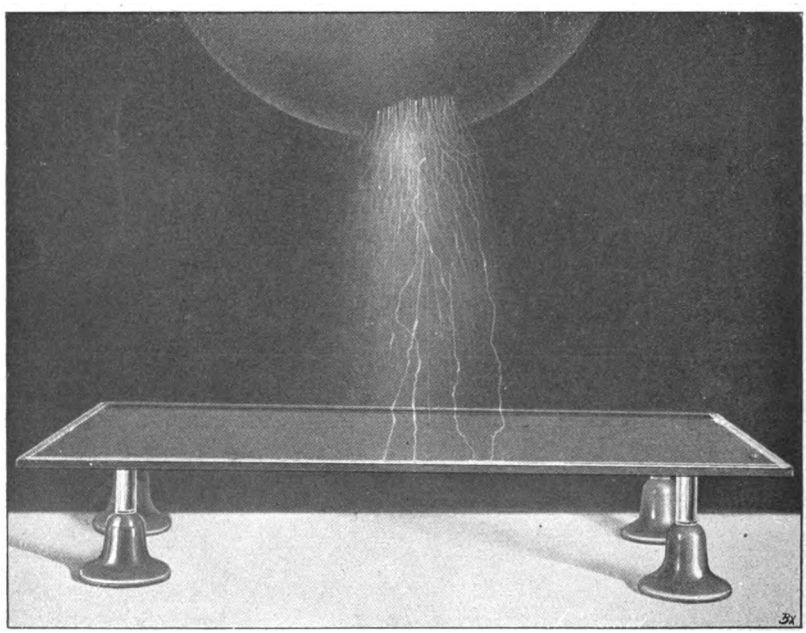


Fig. 3 (Zu S. 14)

Digitized by Google

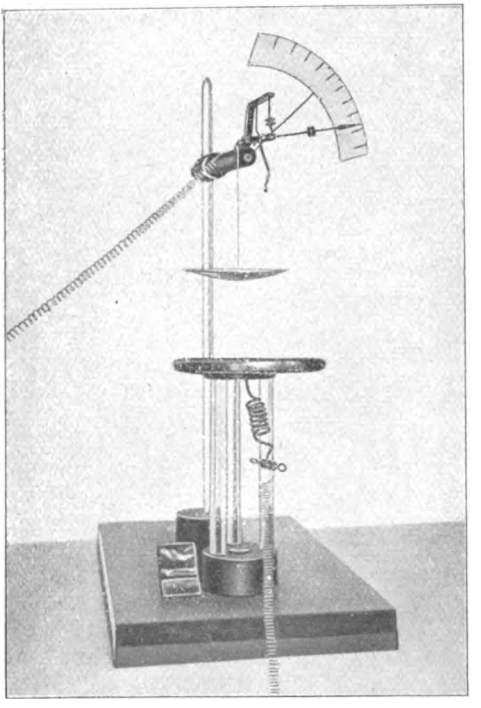


Fig. 4 (Zu S. 12)

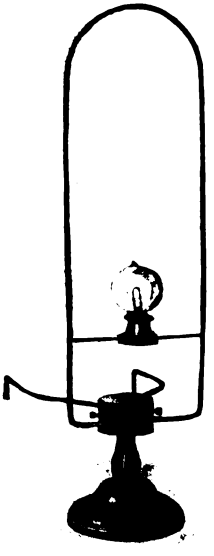


Fig. 5 (Zu S. 19)

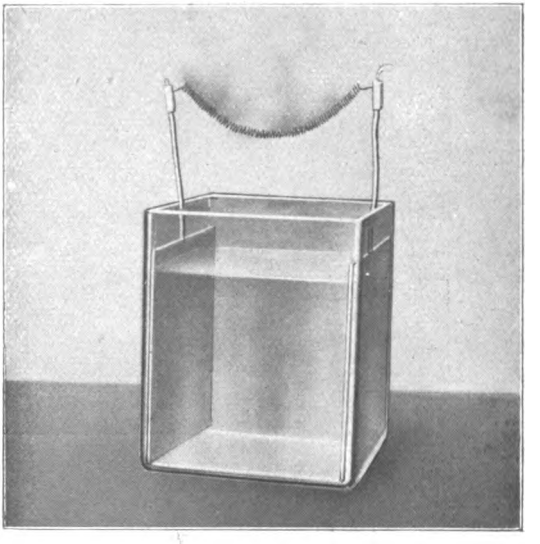


Fig. 6 (Zu S. 23)

Digitized by Google

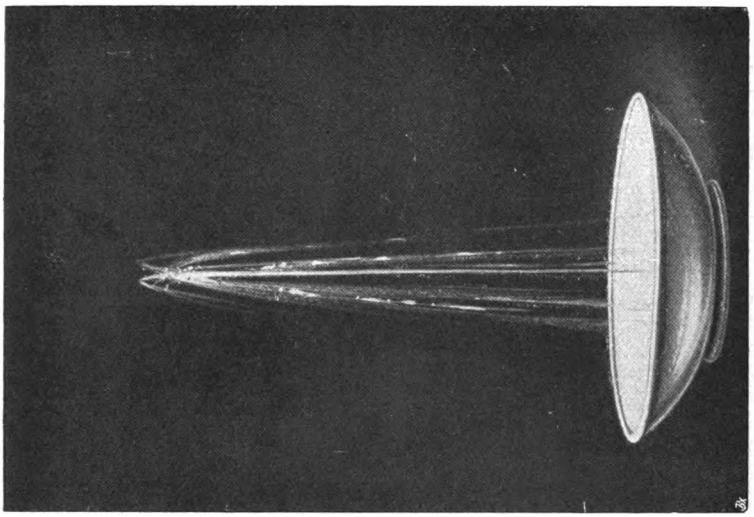


Fig. 7b (Zu S. 16)

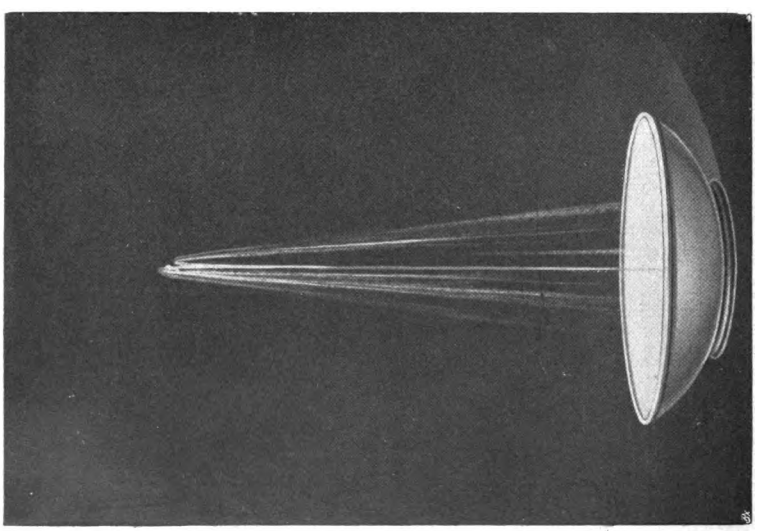


Fig. 7a (Zu S. 16)

Digitized by Google

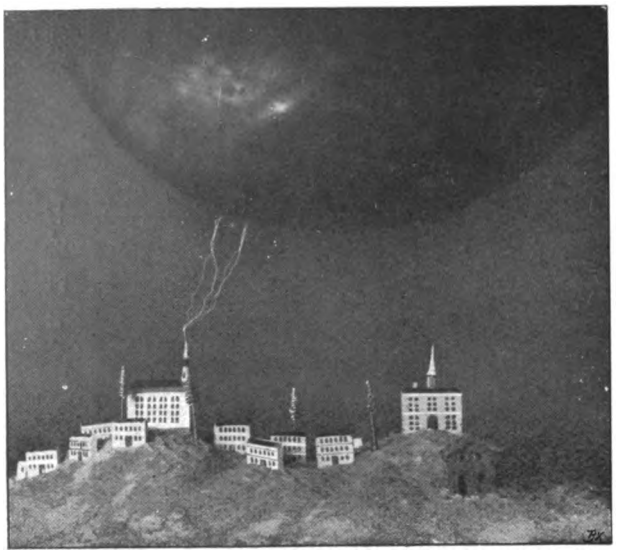


Fig. 8 (Zu S. 17)

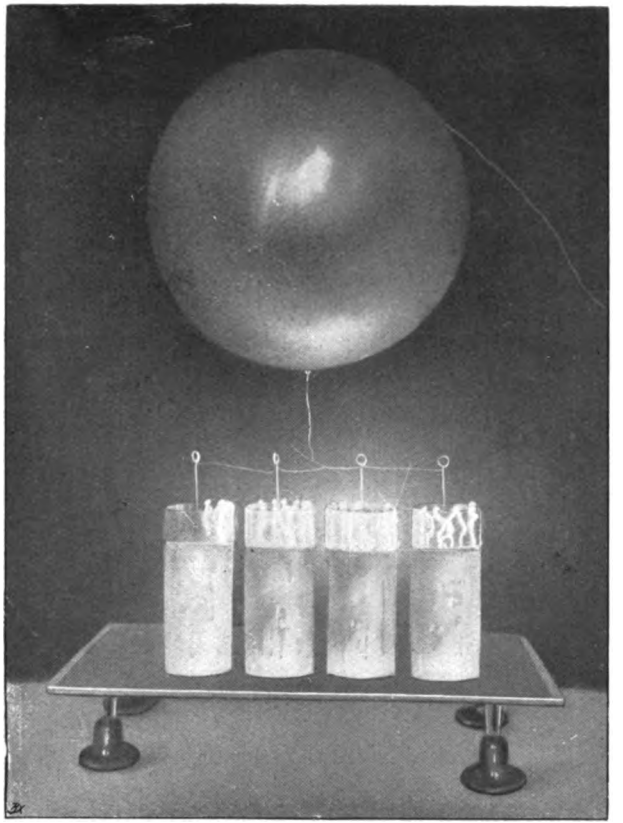


Fig. 9 (Zu S. 15)

Digitized by Google

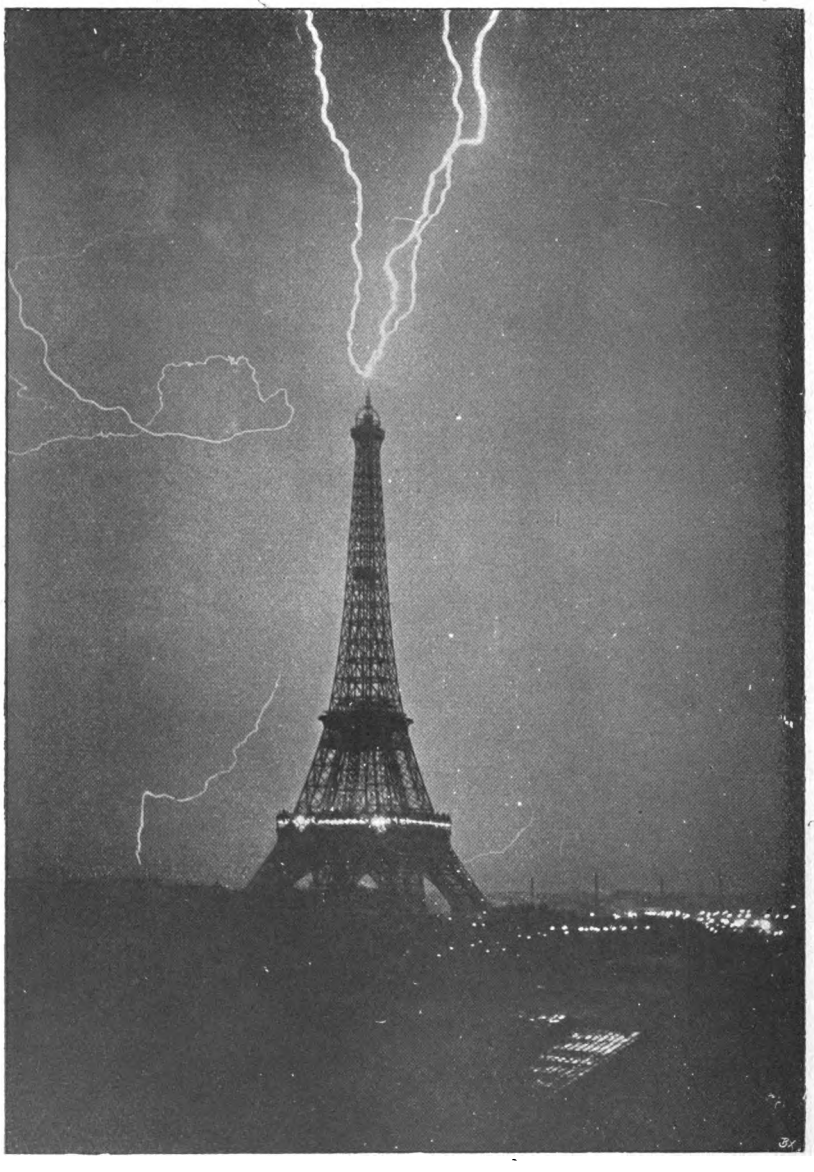


Fig. 10 (Zu S. 17)

Digitized by Google

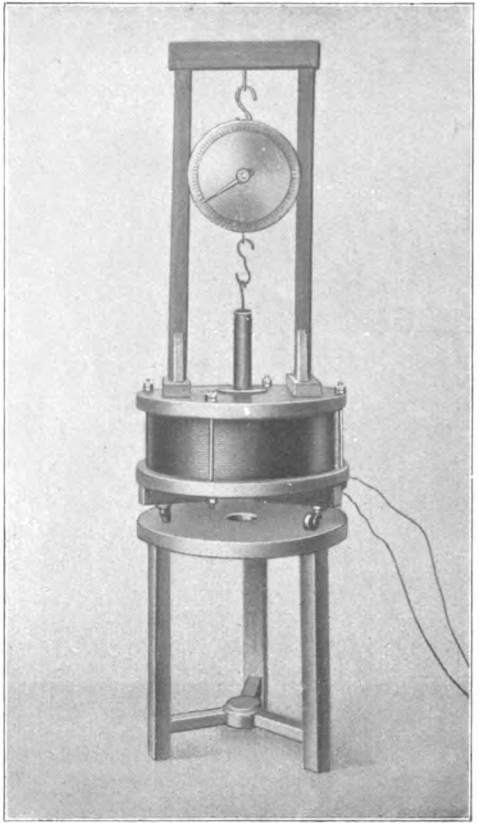


Fig. 11 (Zu S. 24)

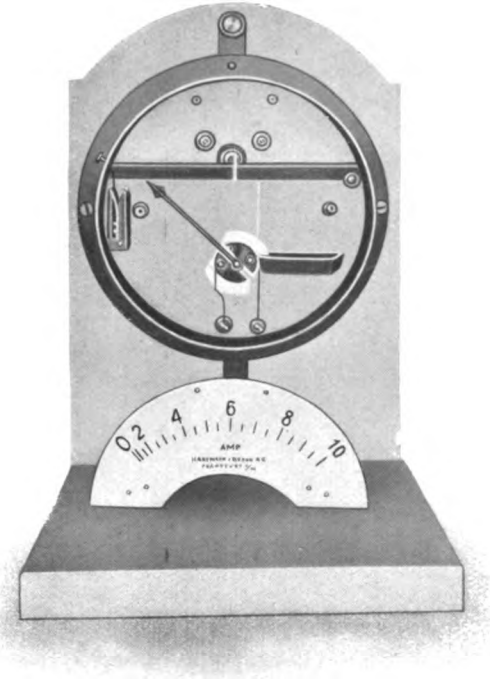


Fig. 12 (Zu S. 24)

Digitized by Google

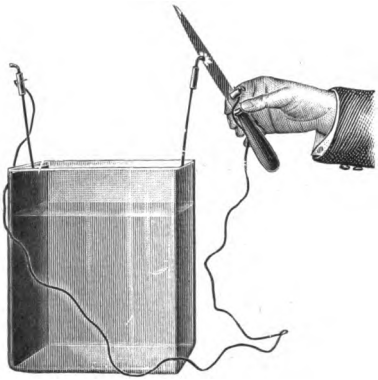


Fig. 13 (Zu S. 23)

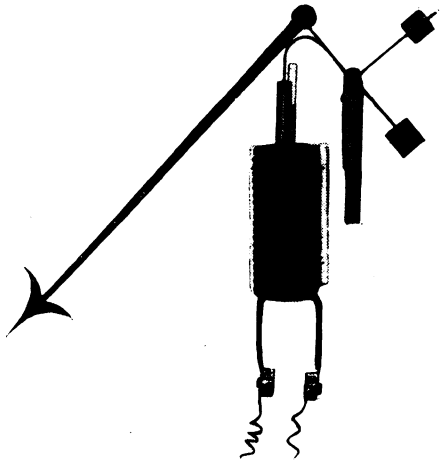


Fig. 14 (Zu S. 25)

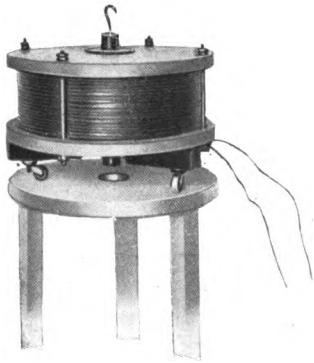


Fig. 15 (Zu S. 25)

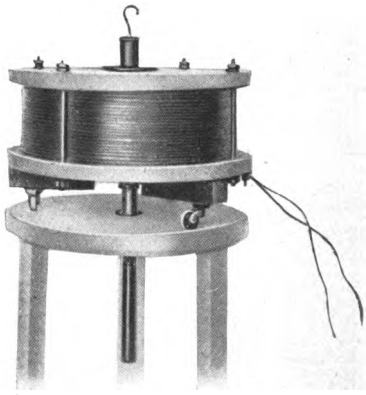


Fig. 16 (Zu S. 25)

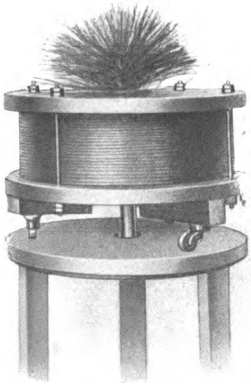


Fig. 17 (Zu S. 25)

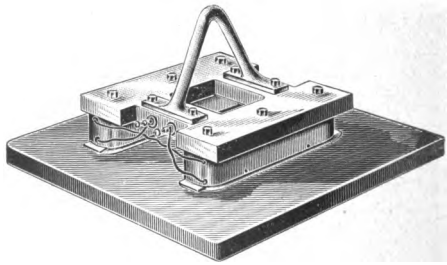


Fig. 18 (Zu S. 25)

Digitized by Google

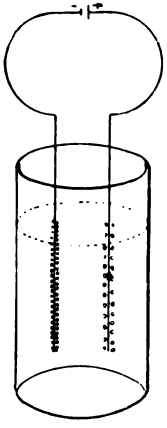


Fig. 19 (Zu S. 25)

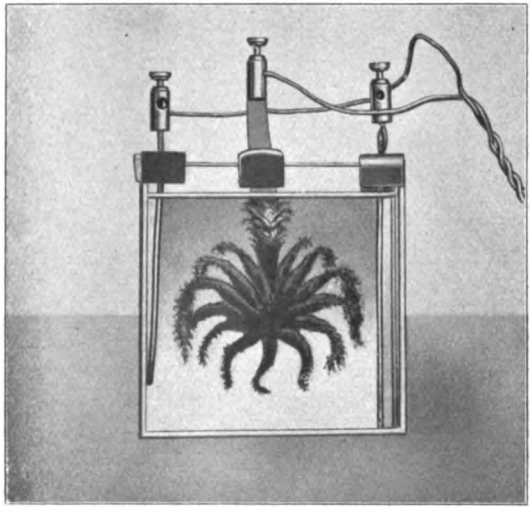


Fig. 20 (Zu S. 27)

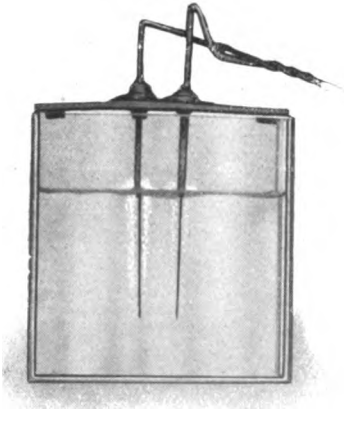


Fig. 21 (Zu S. 27)

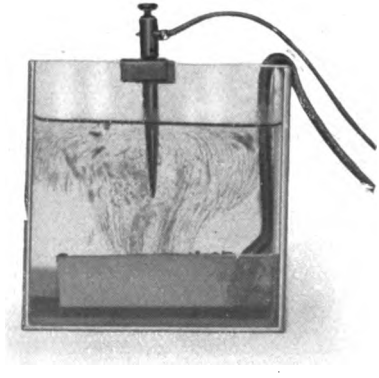


Fig. 22 (Zu S. 27)

Digitized by Google

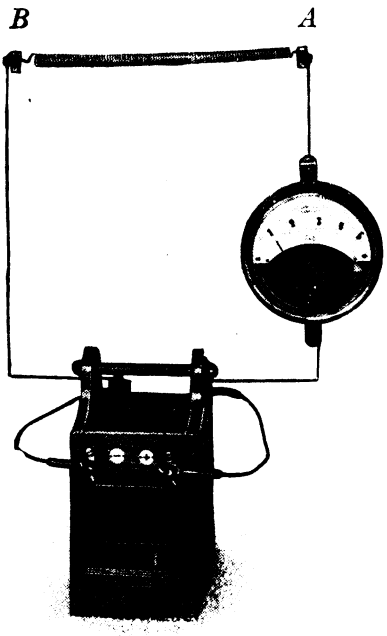


Fig. 23 (Zu S. 29)

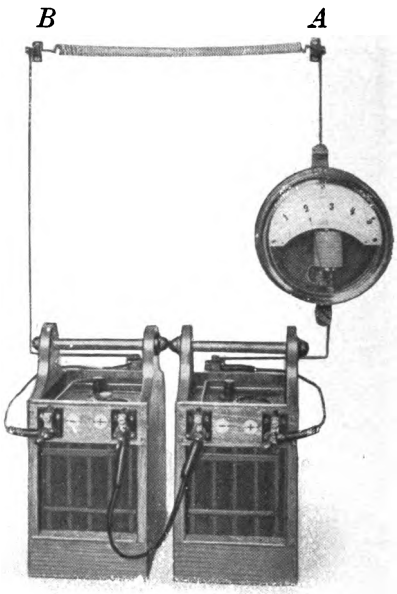


Fig. 24 (Zu S. 29)

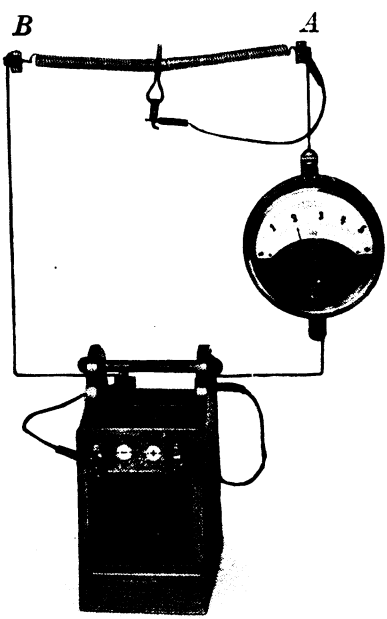


Fig. 25 (Zu S. 29)

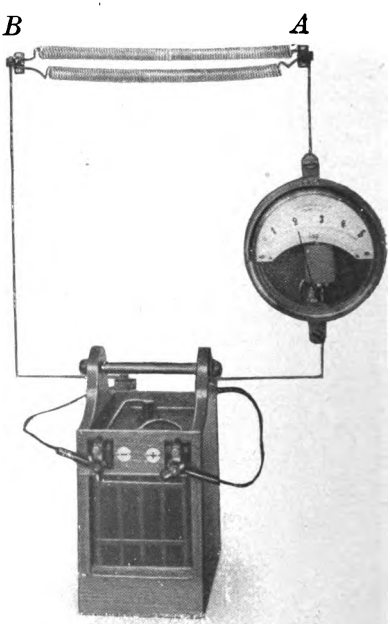


Fig. 26 (Zu S. 29)

Digitized by Google

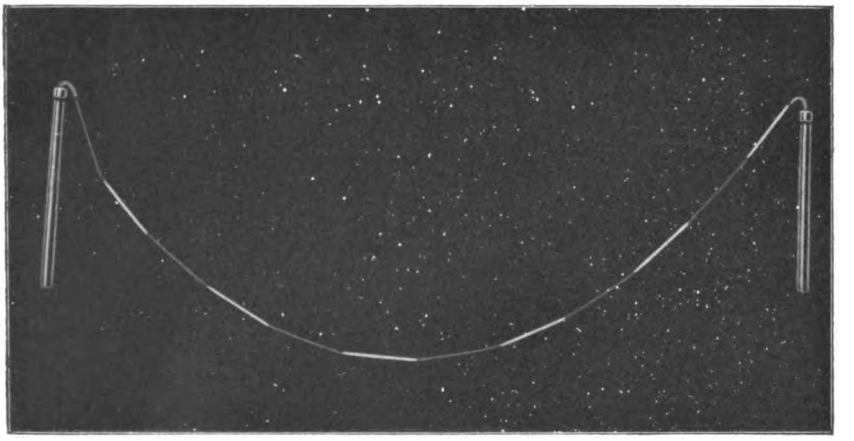


Fig. 27 (Zu S. 30)

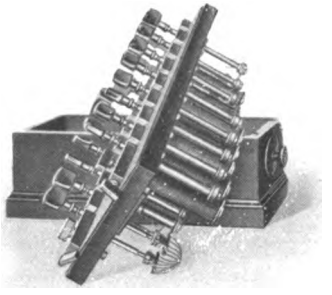


Fig. 28 (Zu S. 31)

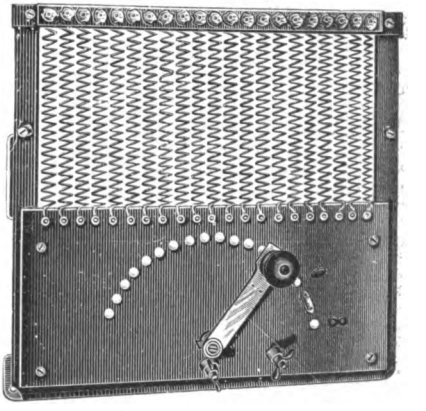


Fig. 29 (Zu S. 31)

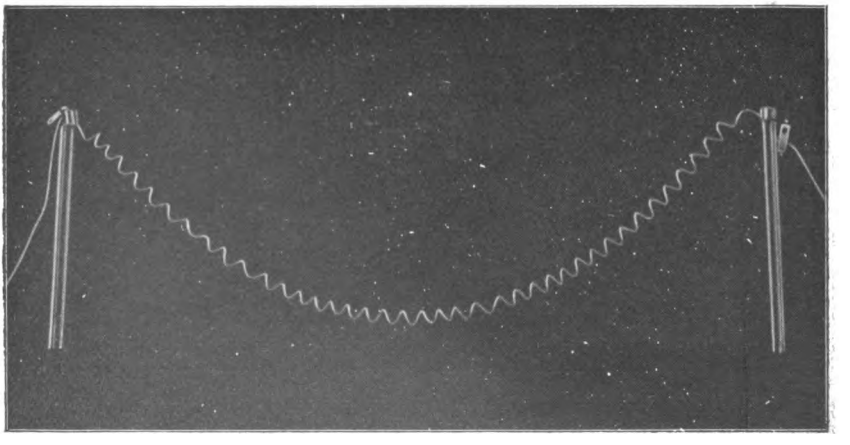


Fig. 30 (ZuS. 32)

Digitized by Google

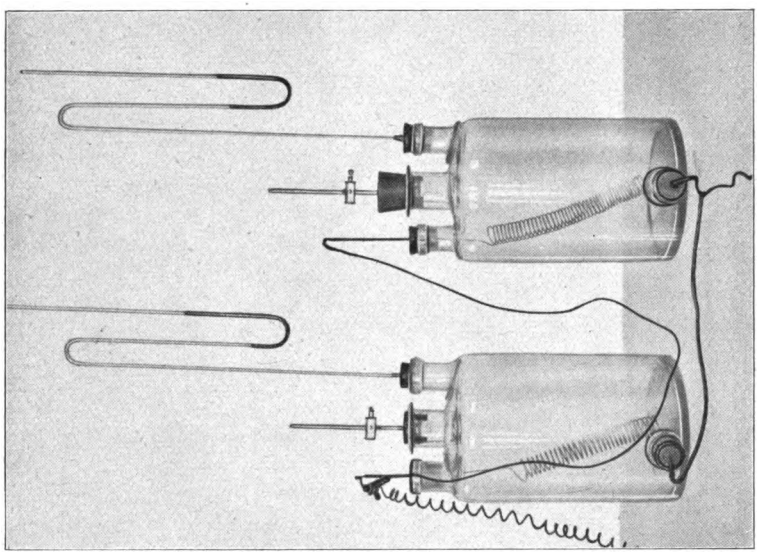


Fig. 33 (Zu S. 40)

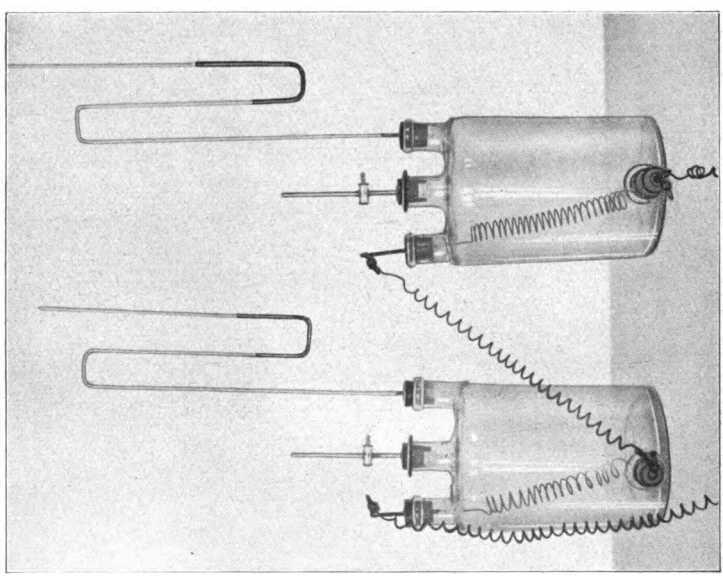


Fig. 32 (Zu S. 39)

Digitized by Google

Fig. 35 (Zu S. 43)

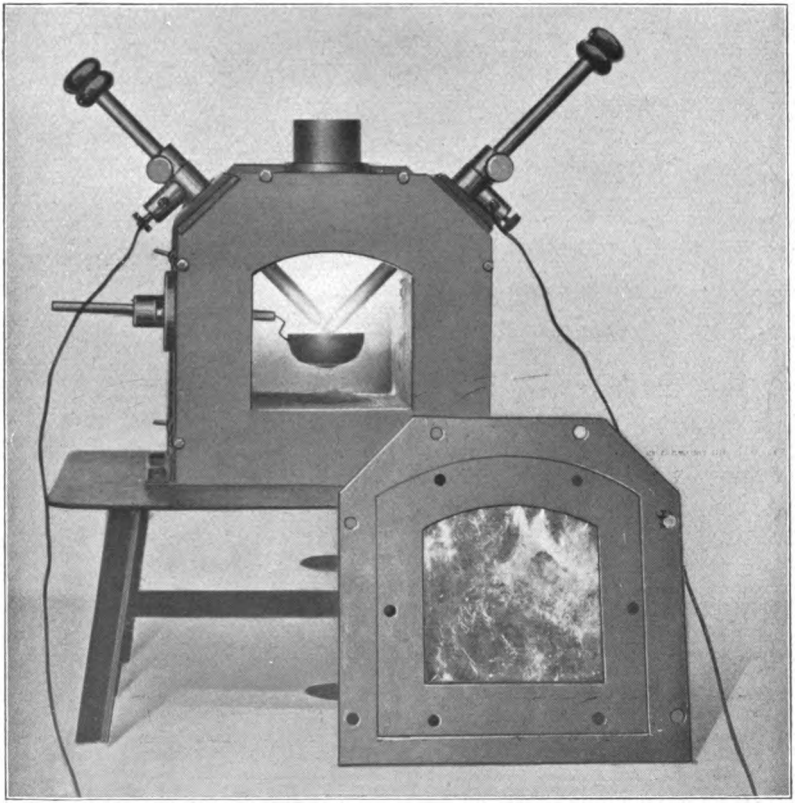


Fig. 43 (Zu S. 55)

Digitized by Google

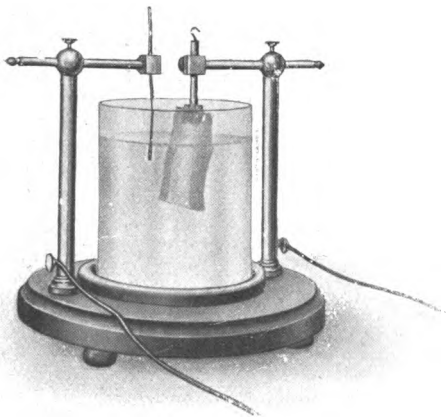


Fig. 31 (Zu S. 32)

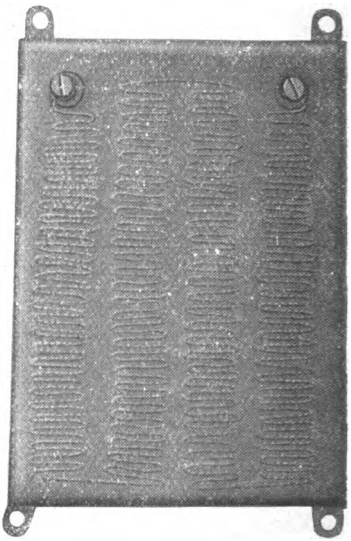


Fig. 34 (Zu S. 42)

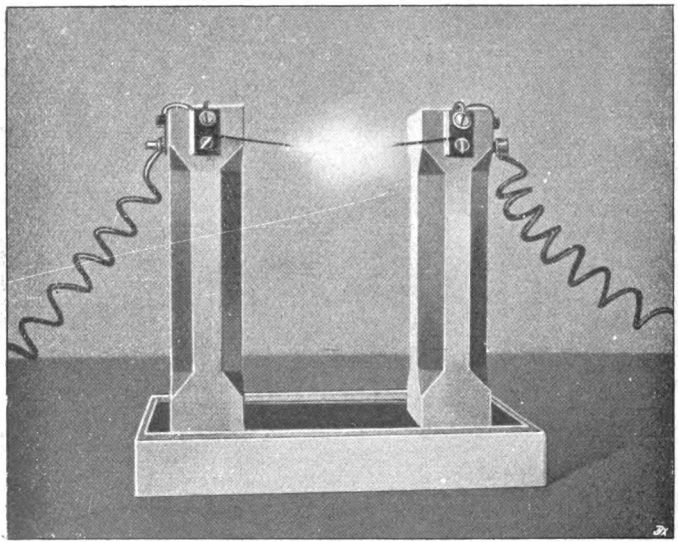


Fig. 36 (Zu 43)

Digitized by Google

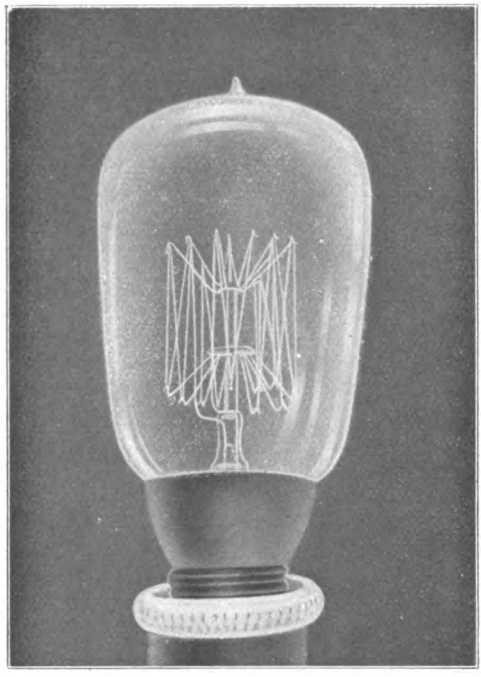


Fig. 39 (Zu S. 48)

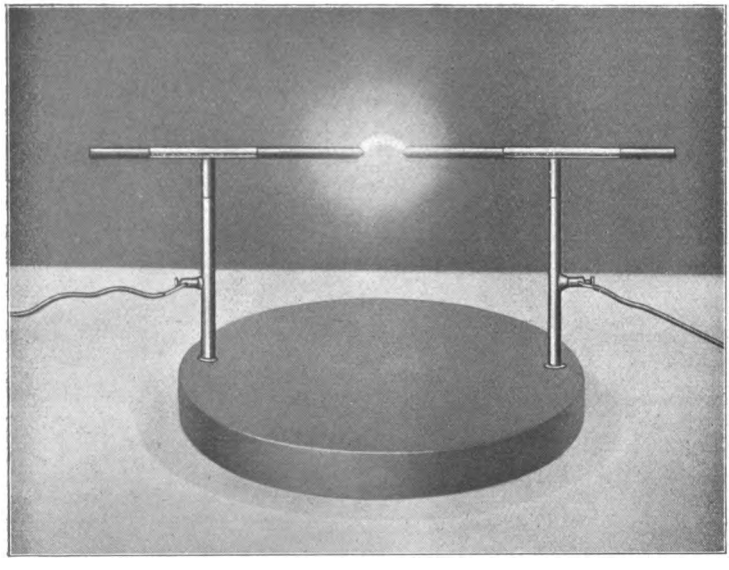


Fig. 40 (Zu S. 49)

Digitized by Google

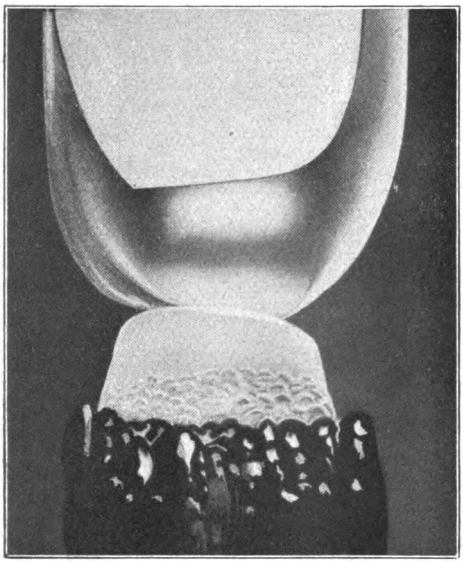


Fig. 41 (Zu S. 49)

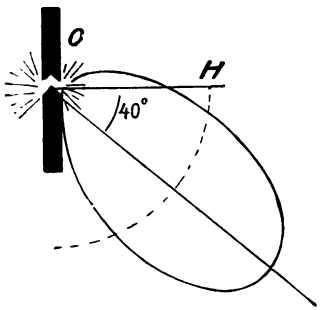


Fig. 42 (Zu S. 50 u. 51)

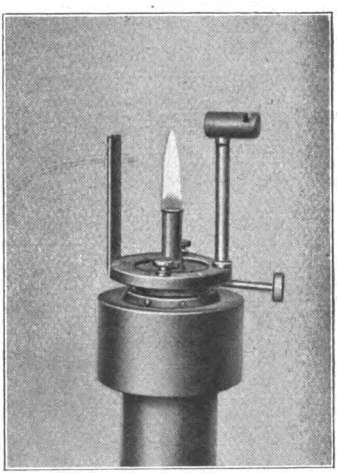


Fig. 37 (Zu S. 44)

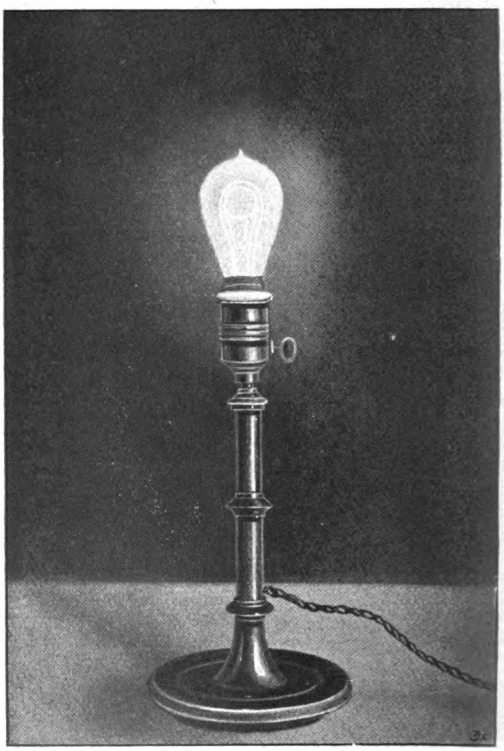


Fig. 38 (Zu S. 47)

Digitized by Google

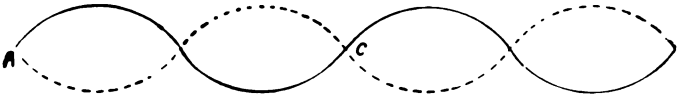


Fig. 45 (Zu S. 59)

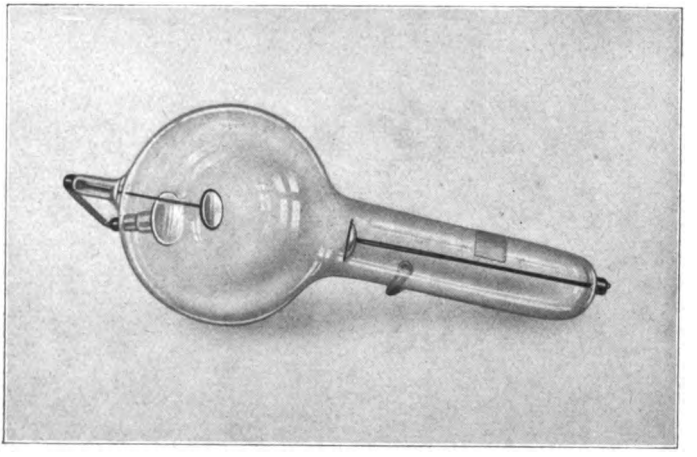


Fig. 46 (Zu S. 64)

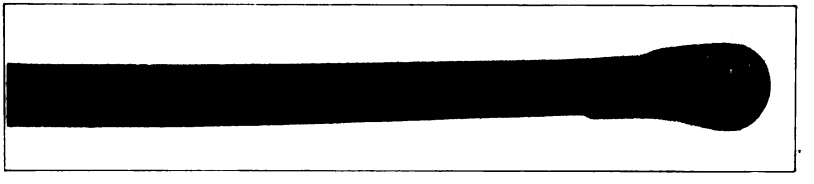


Fig. 48 (Zu S. 64)

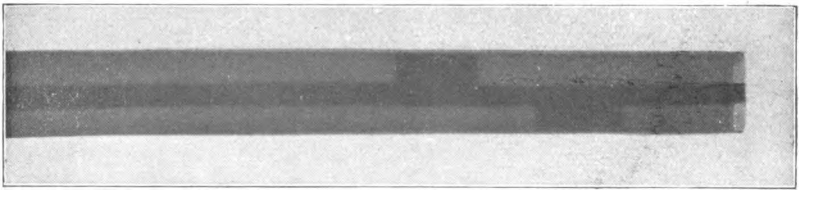


Fig. 49 (Zu S. 64)

Digitized by Google

Fig. 44 (Zu S. 59)

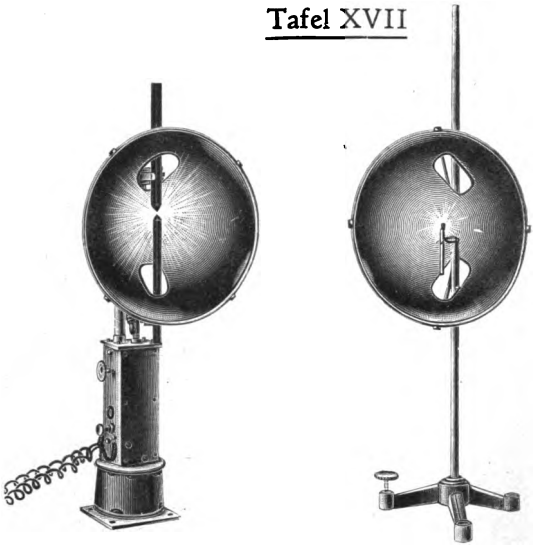


Fig. 52 (Zu S. 66)

Fig. 51 (Zu S. 65)

Digitized by Google

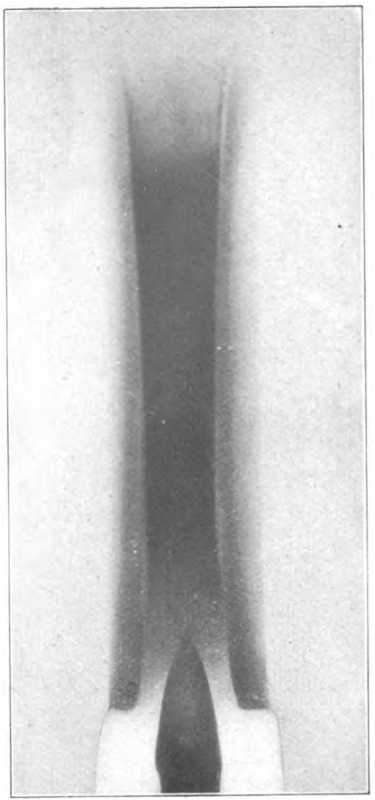


Fig. 47 (Zu S. 64)

Fig. 50 (Zu S. 65)

Digitized by Google

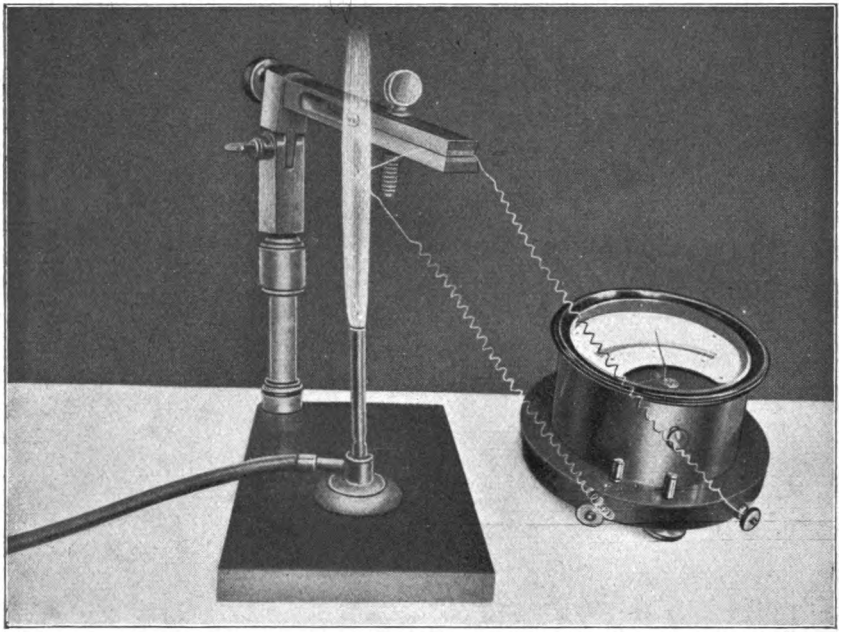


Fig. 53 (Zu S. 67)

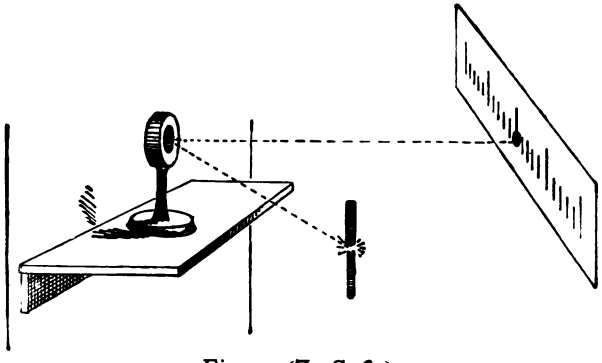


Fig. 54 (Zu S. 67)

Digitized by Google

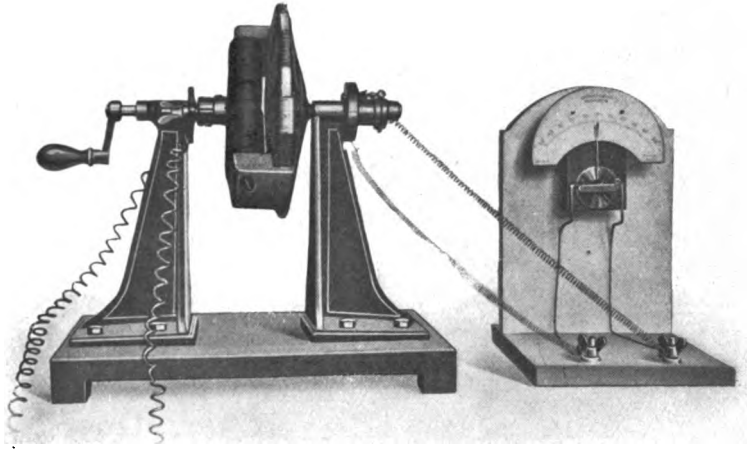


Fig. 56 (Zu S. 68)

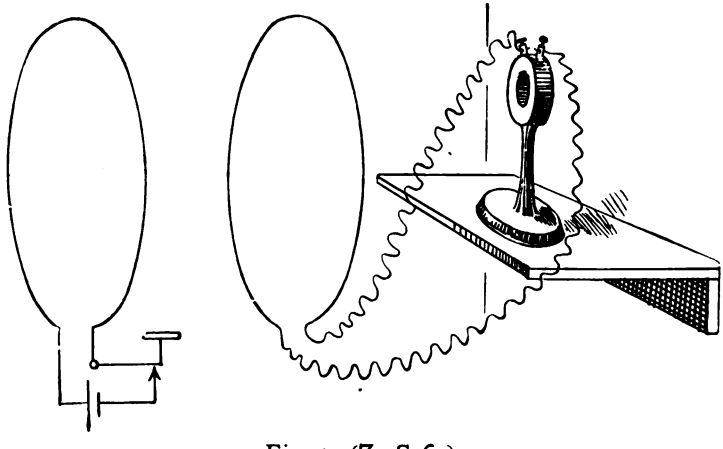


Fig. 57 (Zu S. 69)

Digitized by Google

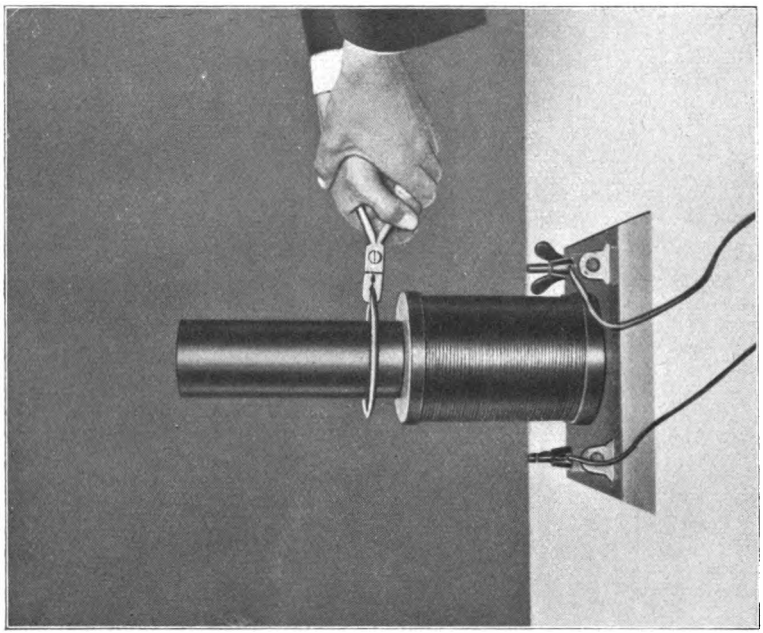


Fig. 59 (Zu S. 70)

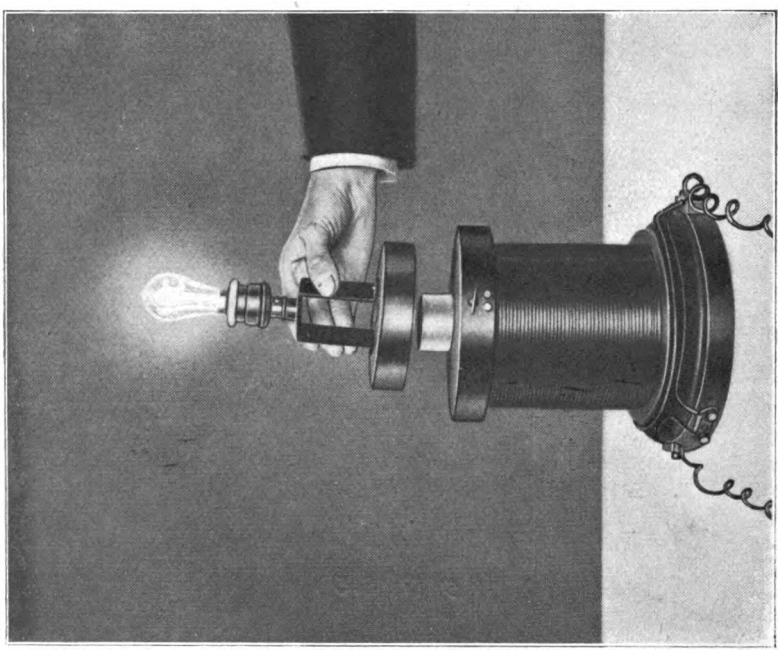


Fig. 58 (Zu S. 70 u. 172)

Digitized by Google

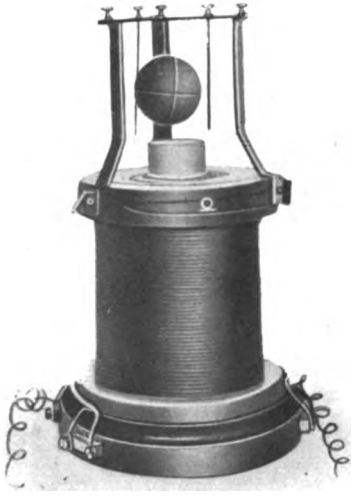


Fig. 61 (Zu S. 71)

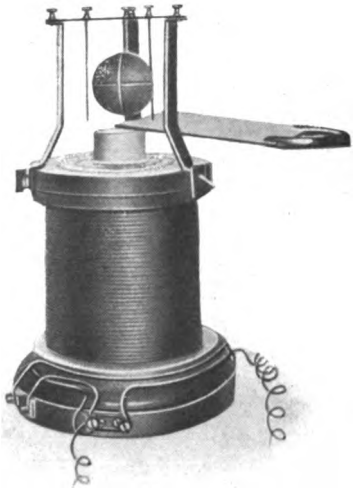


Fig. 62 (Zu S. 71)

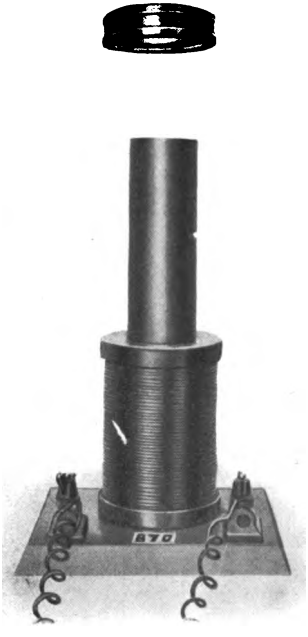


Fig. 63 (Zu S. 71)

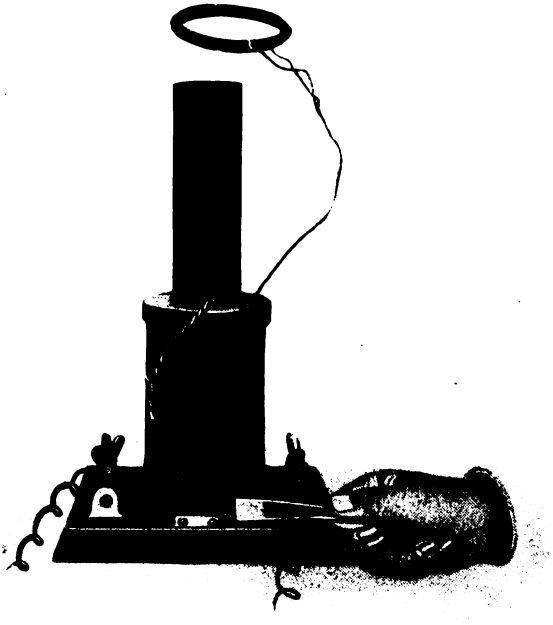


Fig. 60 (Zu S. 70)

Digitized by Google

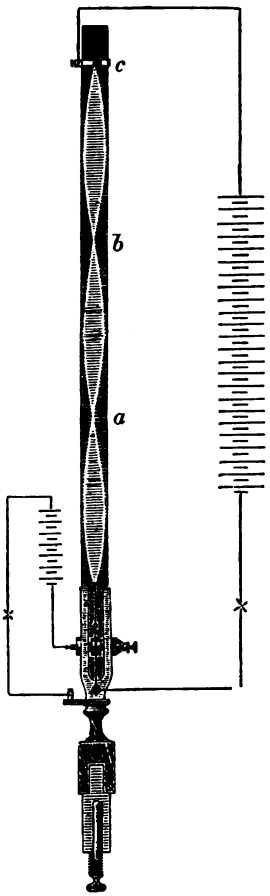


Fig. 68 (Zu S. 80)

Fig. 55 (Zu S. 67)

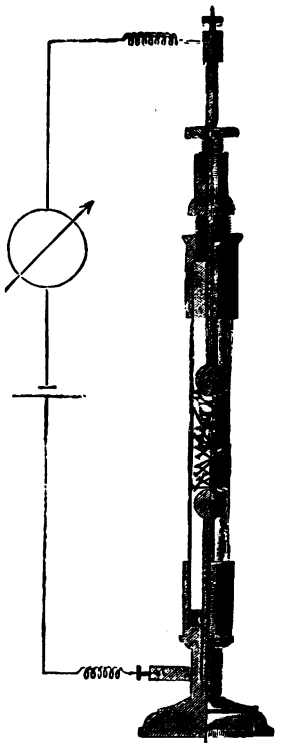


Fig. 71 (Zu S. 85)

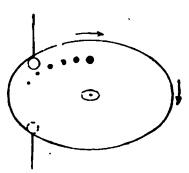


Fig. 64 (Zu S. 72)

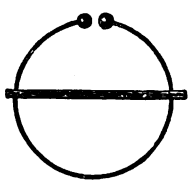


Fig. 66 (Zu S. 77)

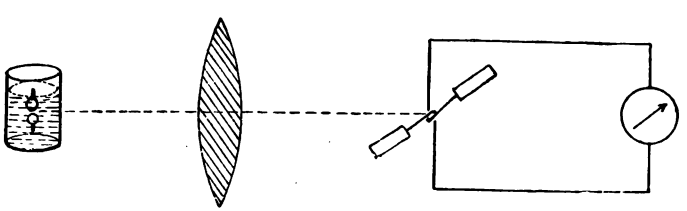


Fig. 65 (Zu S. 72)

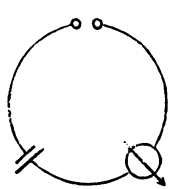


Fig. 70 (Zu S. 84)

Digitized by Google

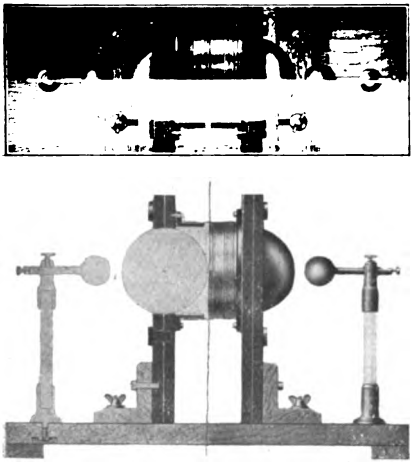


Fig. 67 (Zu S. 77 u. 102)

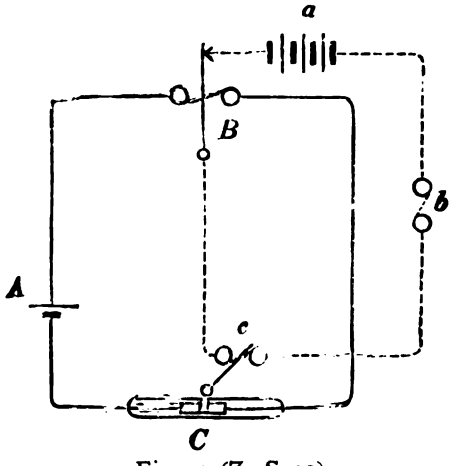


Fig. 73 (Zu S. 90)

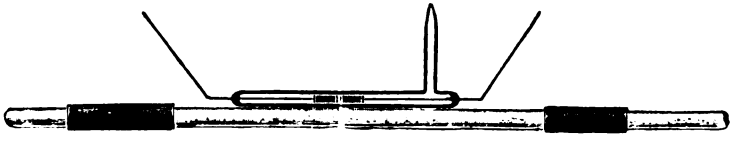


Fig. 72 (Zu S. 89)

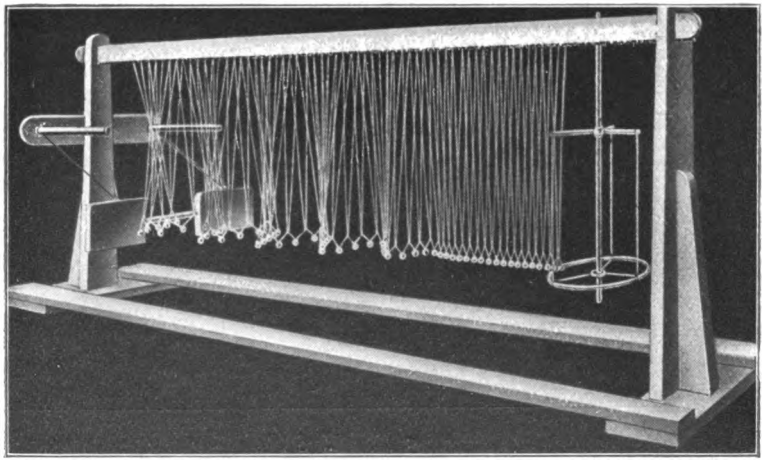


Fig. 69 (Zu S. 82)

Digitized by Google

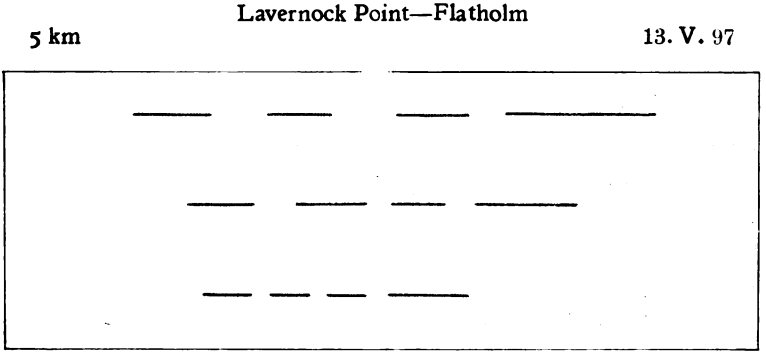


Fig. 74 (Zu S. 94)

Fig. 75 (Zu S. 96)

Digitized by Google

Fig. 76 (Zu S. 96)

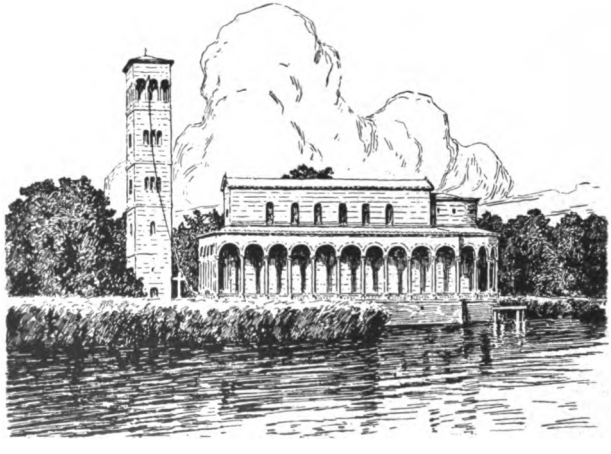


Fig. 77 (Zu S. 97)

Digitized by Google

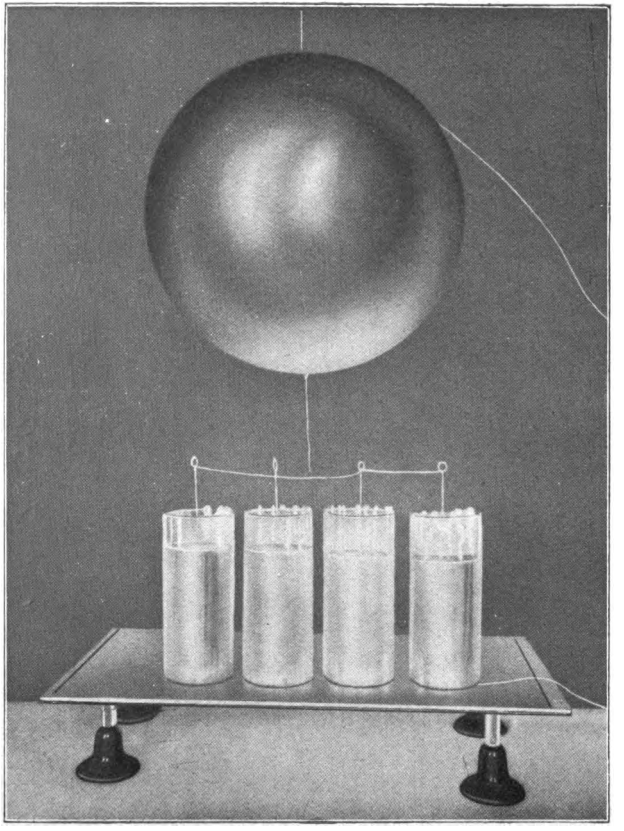


Fig. 79 (Zu S. 107 u. 118)

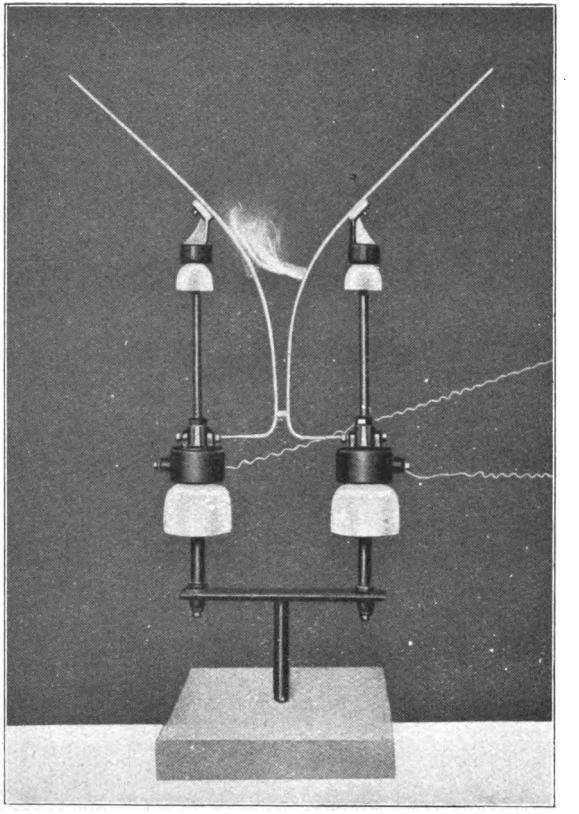


Fig. 80 (Zu S. 117)

Digitized by Google

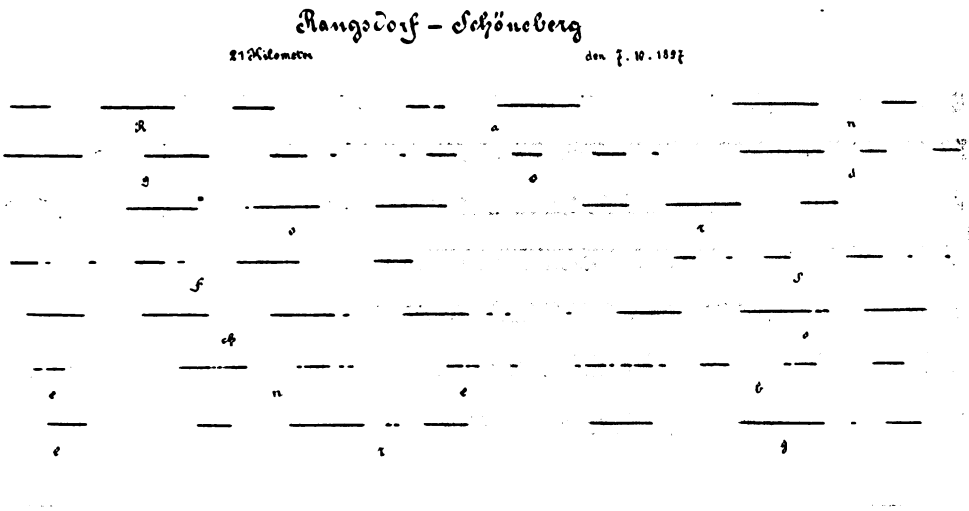


Fig. 78 (Zu S. 106)

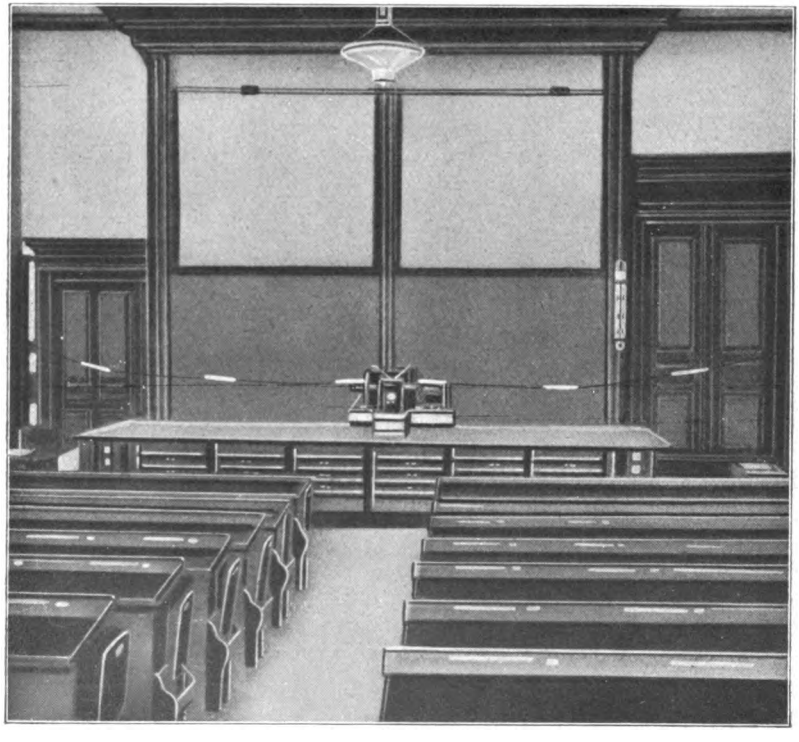


Fig. 81 (Zu S. 118)

Digitized by Google

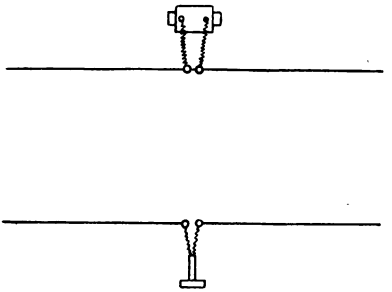


Fig. 83 (Zu S. 121)

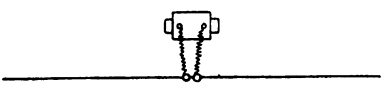


Fig. 84 (Zu S. 121)

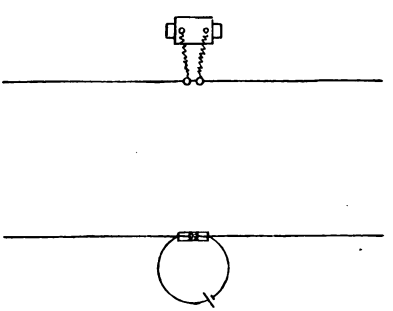


Fig. 85 (Zu S. 123)

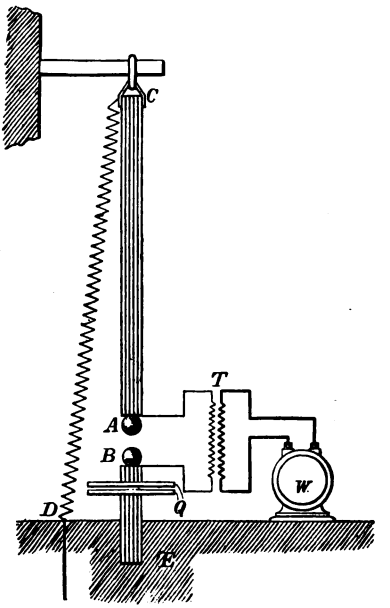


Fig. 86 (Zu S. 125)

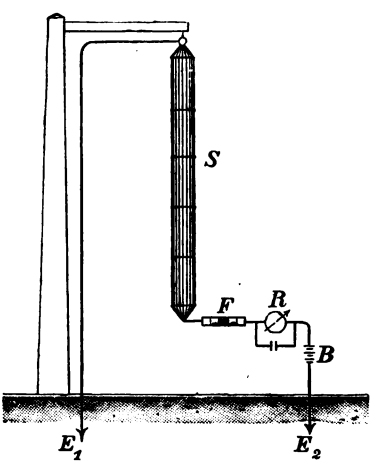


Fig. 87 (Zu S. 127)

Digitized by Google

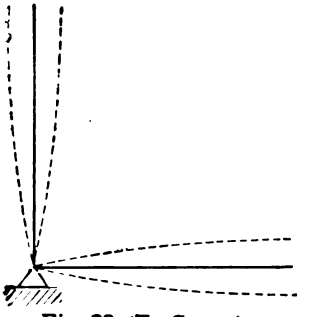


Fig. 88 (Zu S. 133)

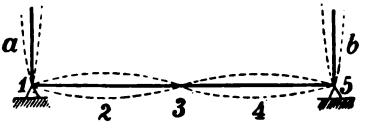


Fig. 89 (Zu S. 133)

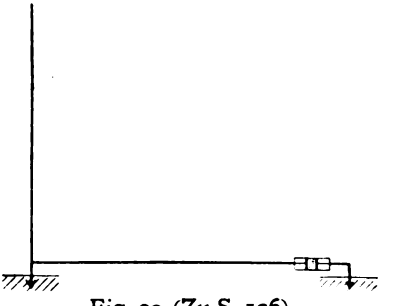


Fig. 90 (Zu S. 136)

Fig. 91 (Zu S. 140)

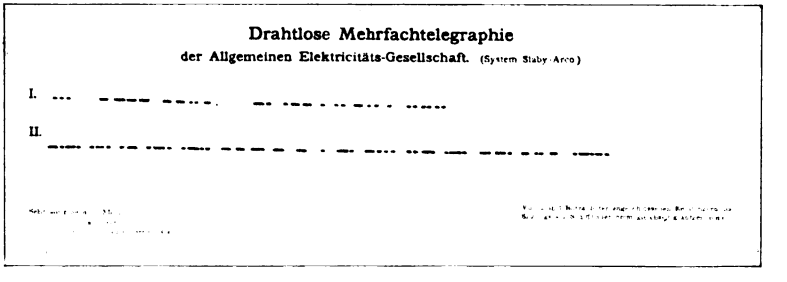


Fig. 92 (Zu S. 141)

Digitized by Google

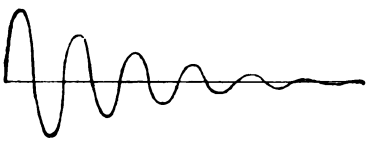


Fig. 82 (Zu S. 119)

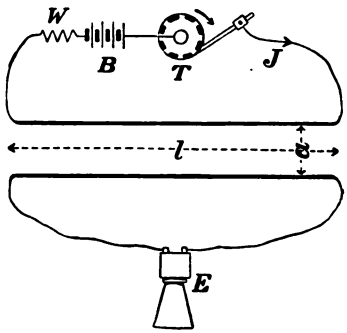


Fig. 93 (Zu S. 146)

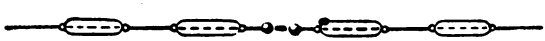


Fig. 94 (Zu S. 149)

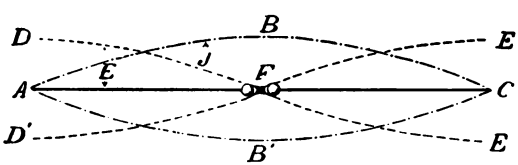


Fig. 95 (Zu S. 149 u. 150)

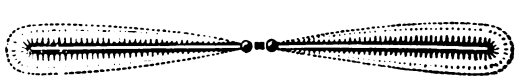


Fig. 96 (Zu S. 150)

Digitized by Google

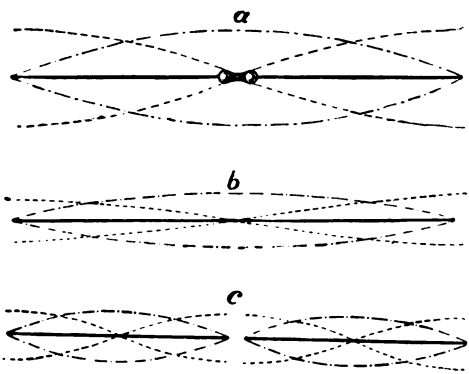


Fig. 97 (Zu S. 151)

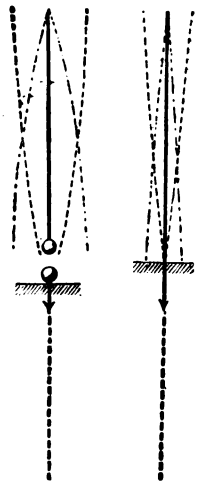


Fig. 98 (Zu S. 153)

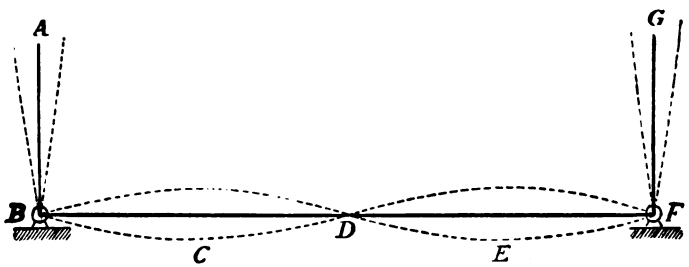


Fig. 99 (Zu S. 156)

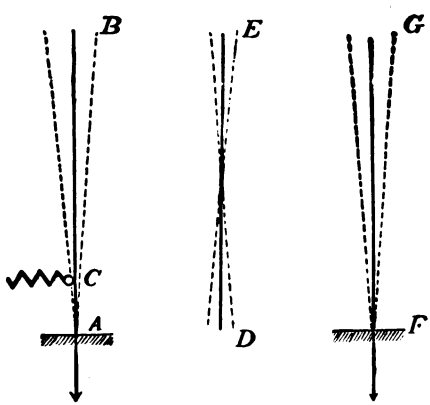


Fig. 100 (Zu S. 156 u. 157)

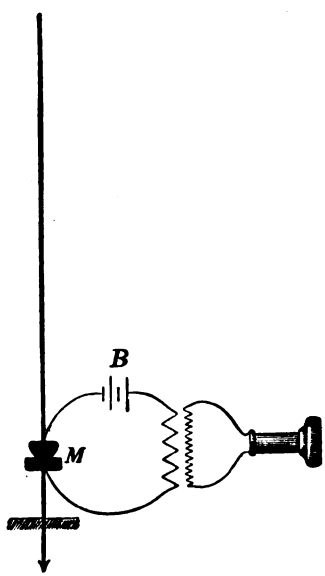


Fig. 101 (Zu S. 158)

Digitized by Google

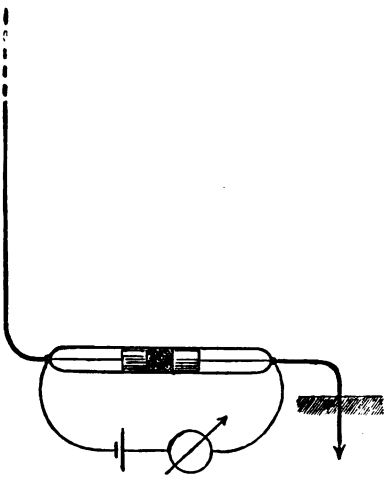


Fig. 102 (Zu S. 160)

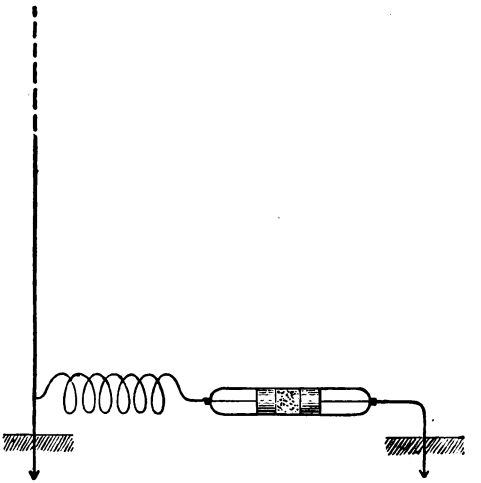


Fig. 103 (Zu S. 161)

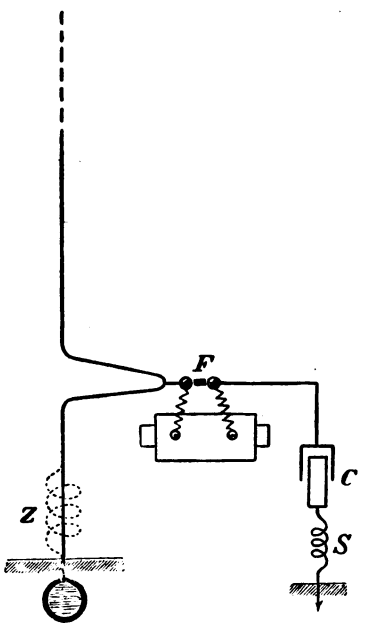


Fig. 104 (Zu S. 164)

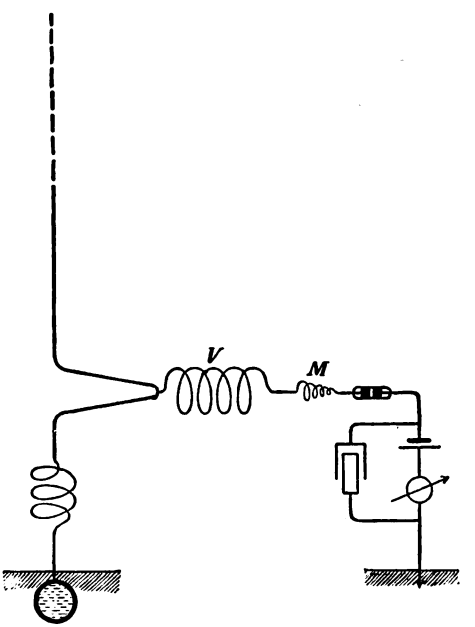


Fig. 105 (Zu S. 164)

Digitized by Google

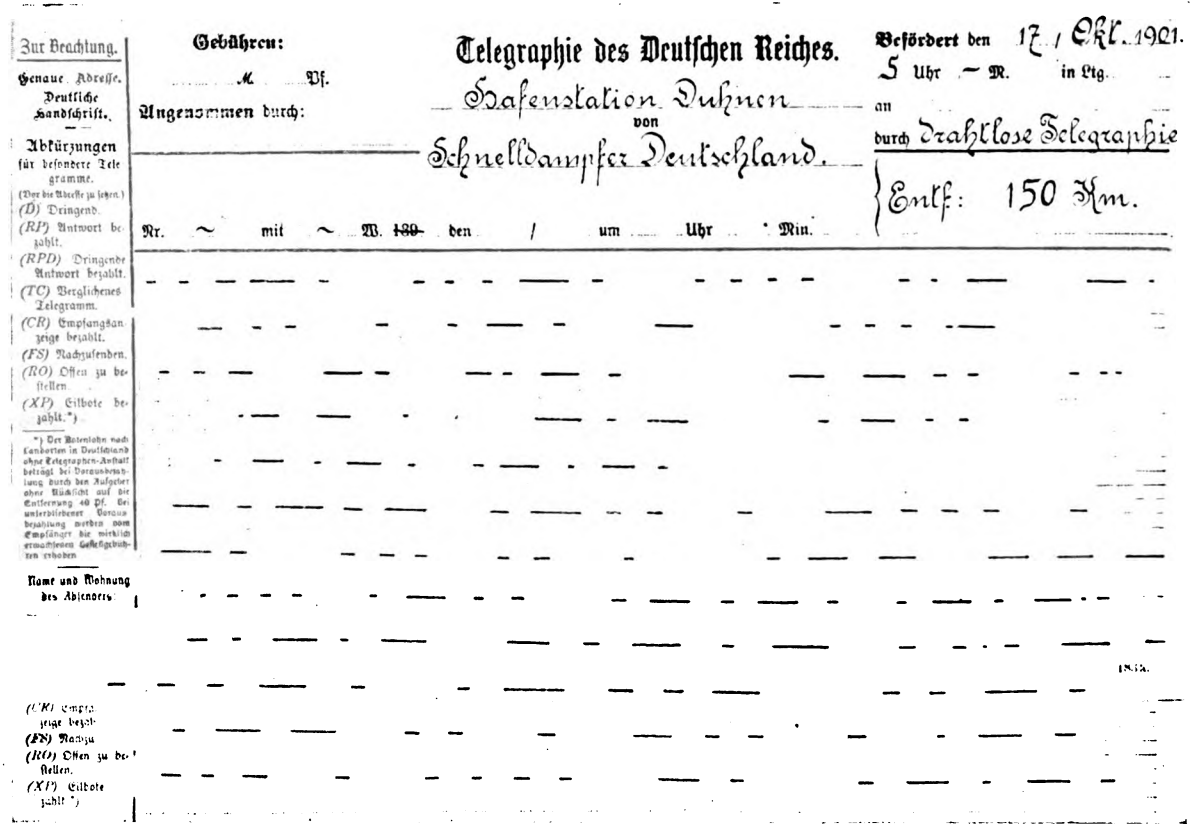


Fig. 106 (Zu S. 165)

Digitized by Google

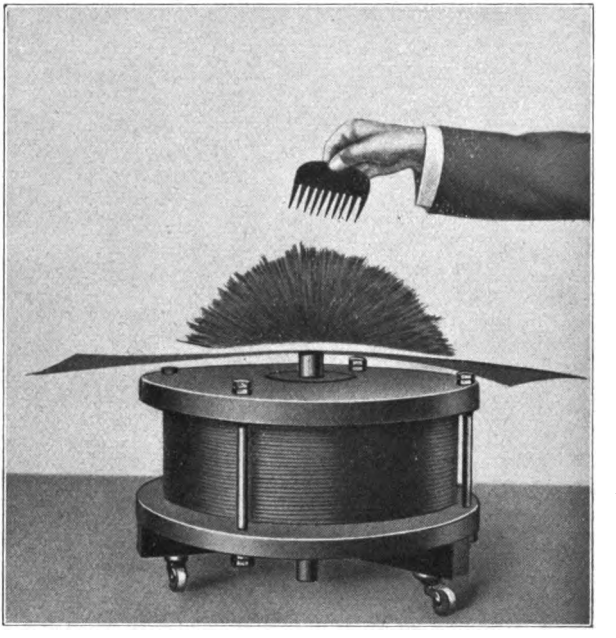


Fig. 107 (Zu S. 169)

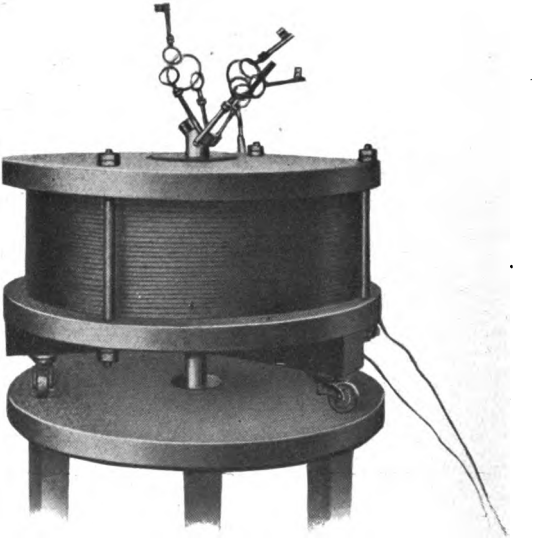


Fig. 108 (Zu S. 169)

Digitized by Google

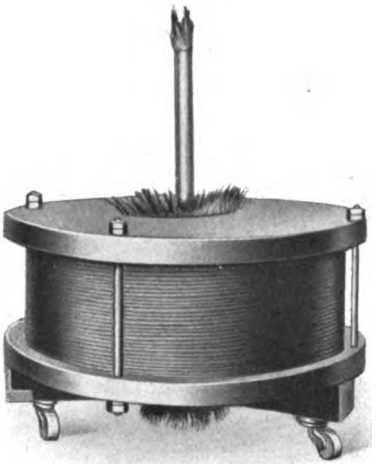


Fig. 109 (Zu S. 169)

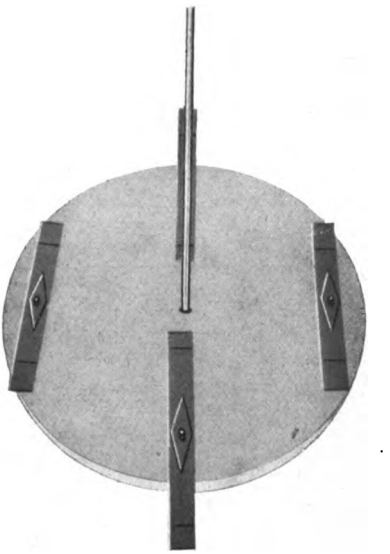


Fig. 111 (Zu S. 169)

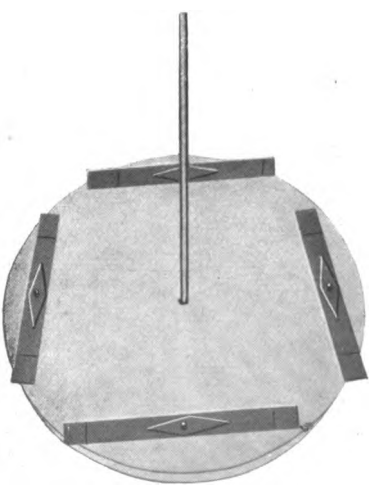


Fig. 112 (Zu S. 169)

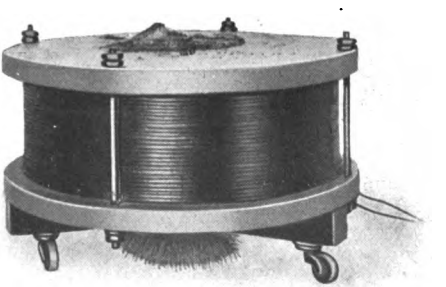


Fig. 110 (Zu S. 169)

Digitized by Google

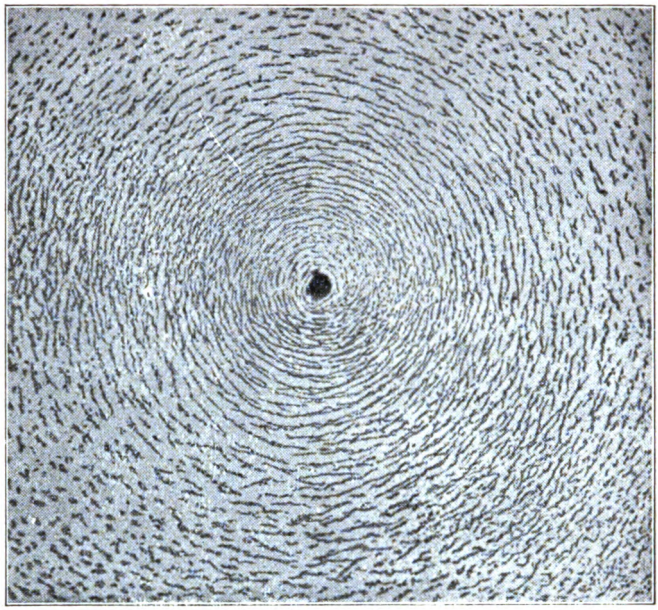


Fig. 113 (Zu S. 169)

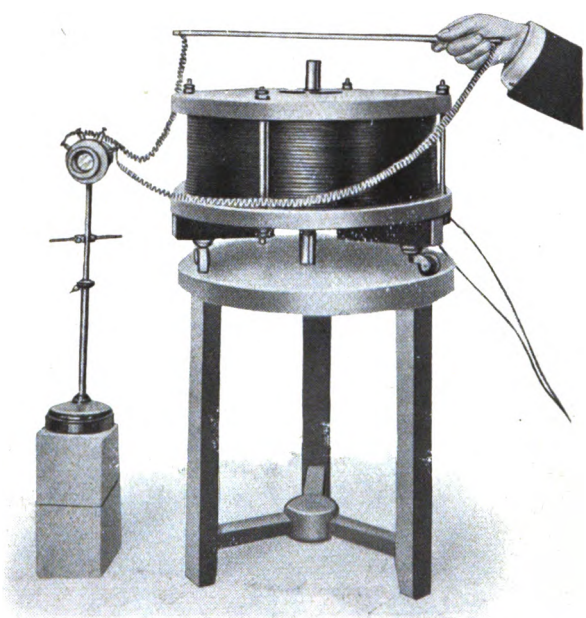


Fig. 114 (Zu S. 170)

Digitized by Google

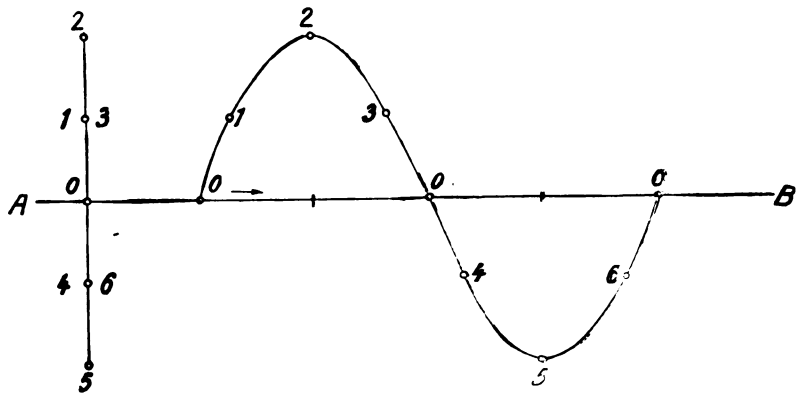


Fig. 115 (Zu S. 171)

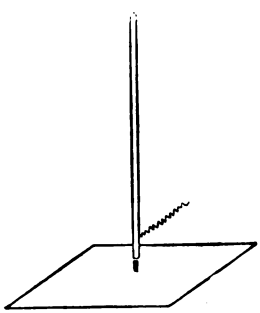


Fig. 116
(Zu S. 173 u. 196)

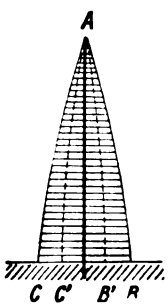


Fig. 117 (Zu S. 174)

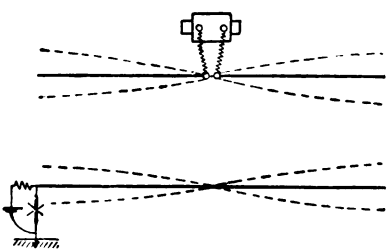


Fig. 120 (Zu S. 177)

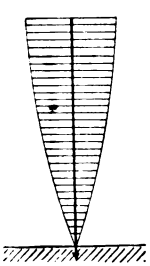


Fig. 118 (Zu S. 175)

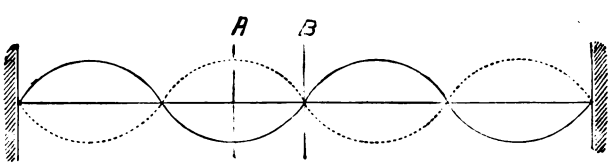


Fig. 119 (Zu S. 175)

Digitized by Google

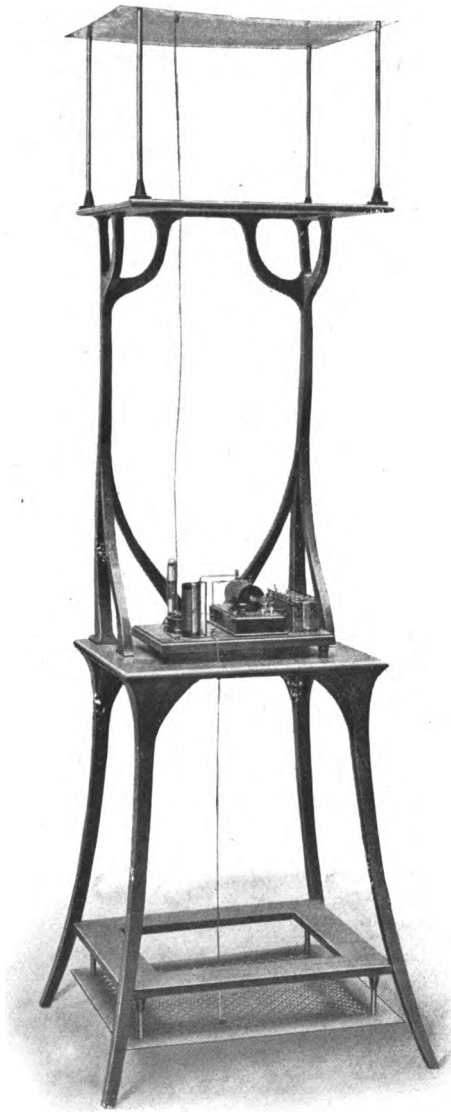


Fig. 121a (Zu S. 178)

Digitized by Google

Fig. 121b (Zu S. 178)

Digitized by Google

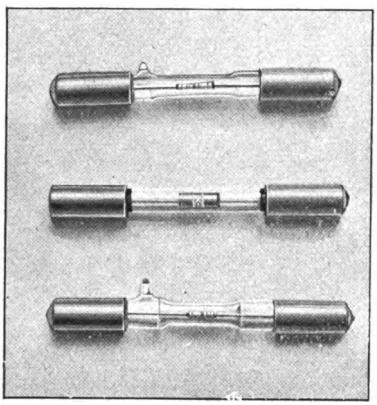


Fig. 122 (Zu S. 178)

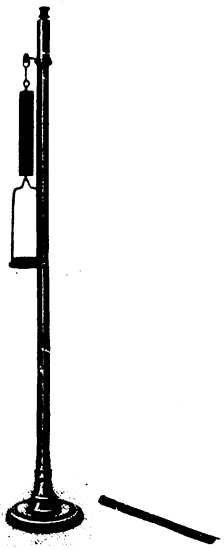


Fig. 124 (Zu S. 179)

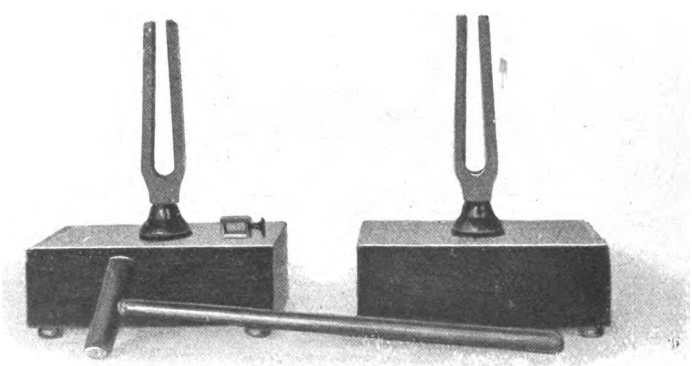


Fig. 123 (Zu S. 178)

Digitized by Google

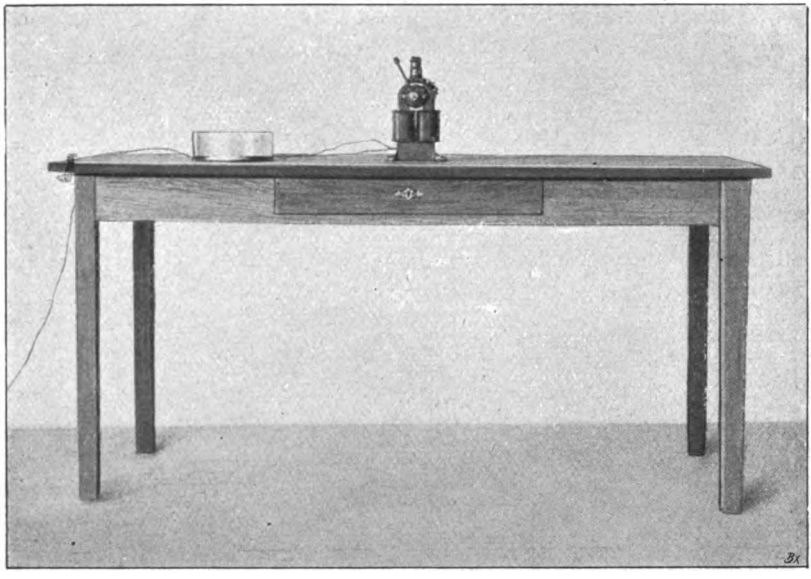


Fig. 125 (Zu S. 179)

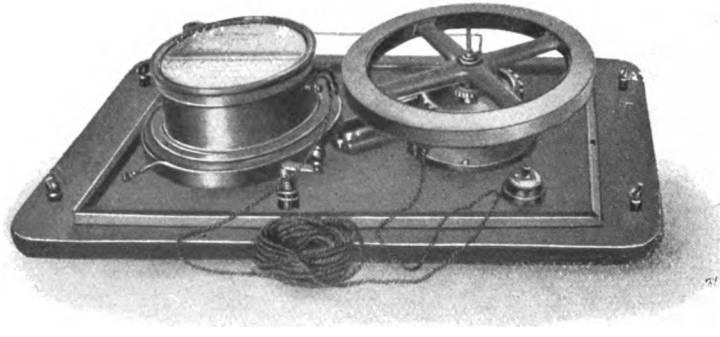


Fig. 126 (Zu S. 181)

Digitized by Google

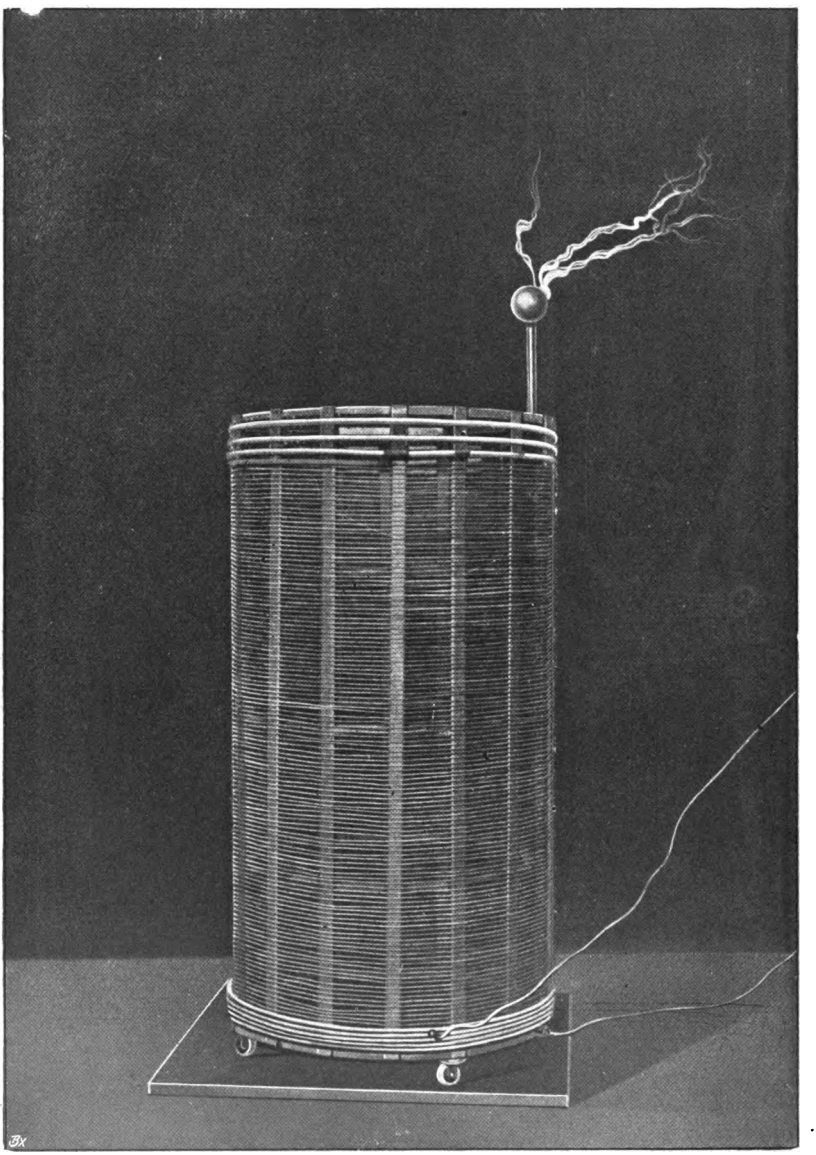


Fig. 128 (Zu S. 183)

Digitized by Google

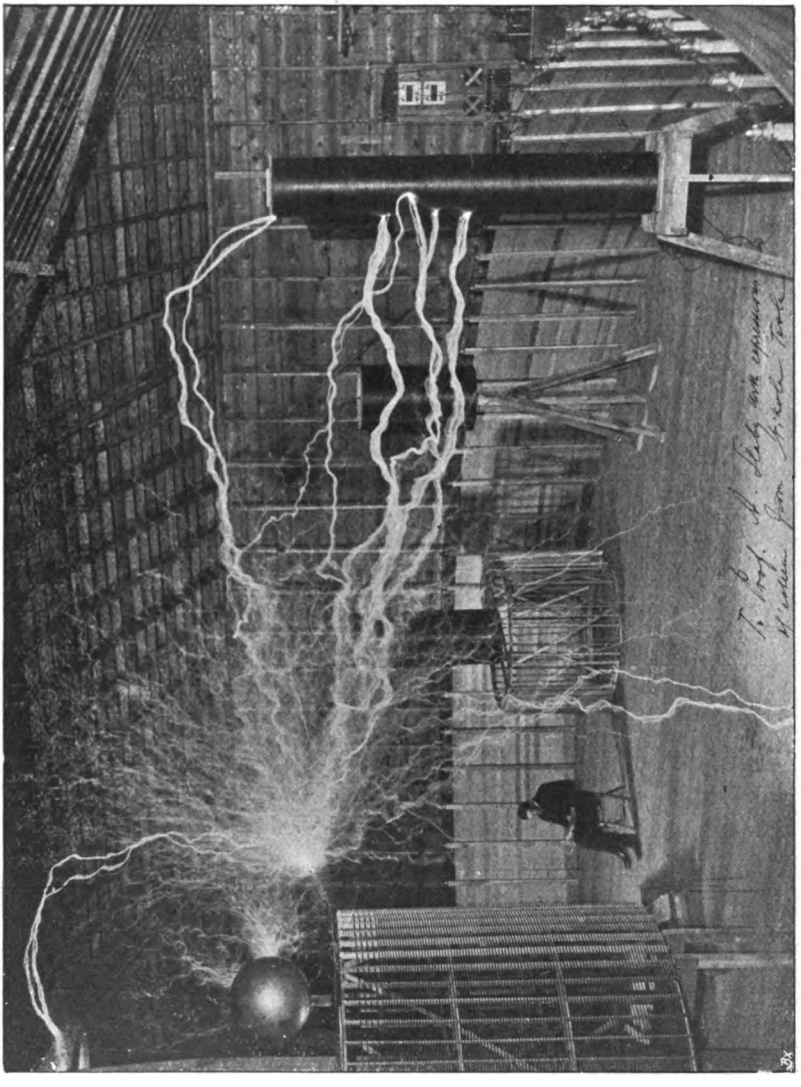


Fig. 129 (s. S. 183).

Digitized by Google

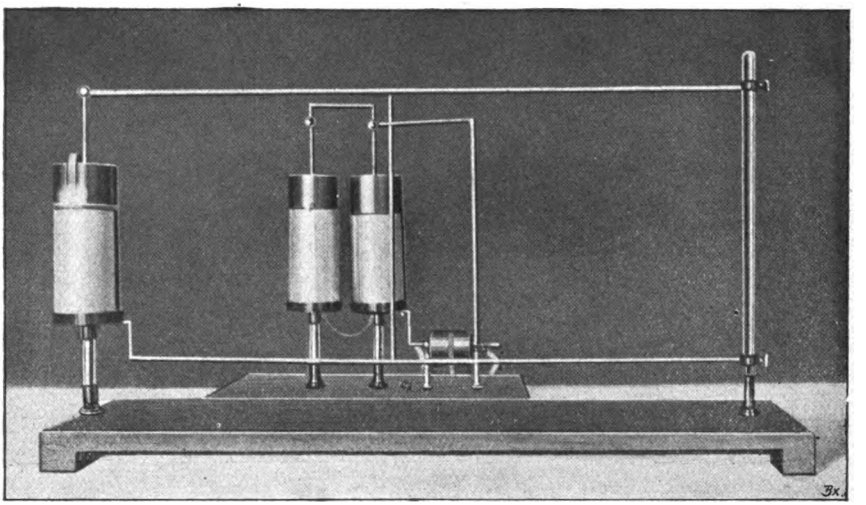


Fig. 127 (Zu S. 182)

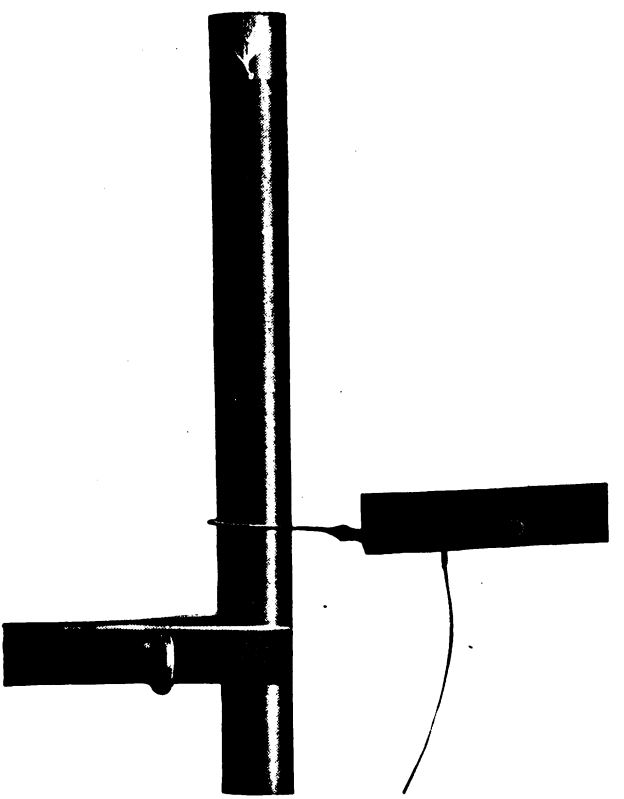


Fig. 133 (Zu S. 184)

Digitized by Google

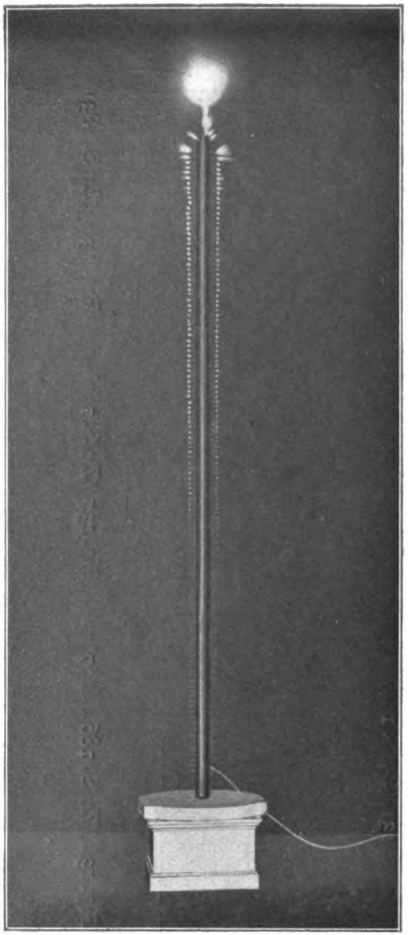


Fig. 134a (Zu S. 185)

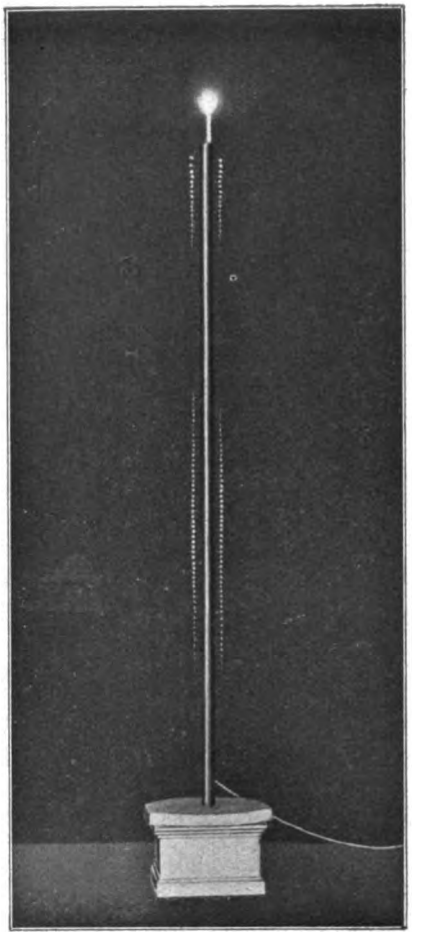


Fig. 134b (Zu S. 185)

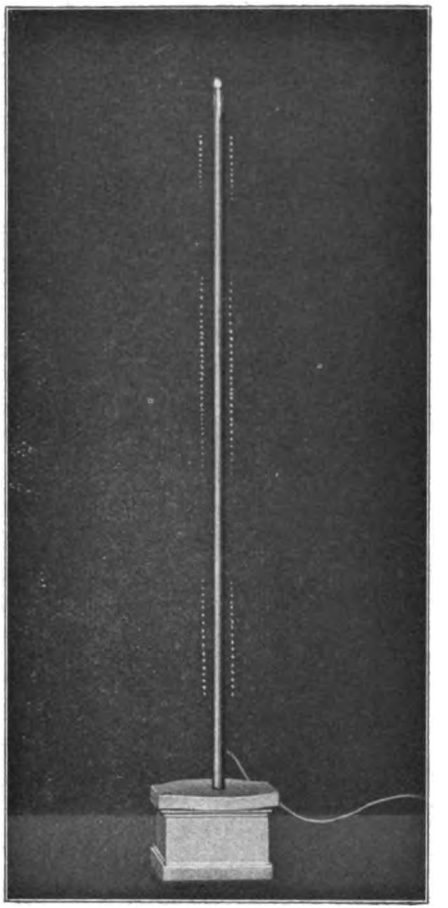


Fig. 134c (Zu S. 185)

Digitized by Google

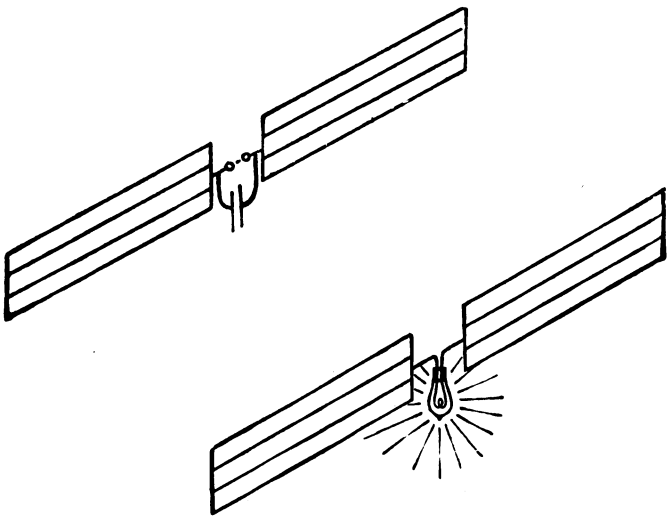


Fig. 138 (Zu S. 189)

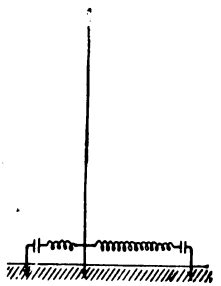


Fig. 132 (Zu S. 184)

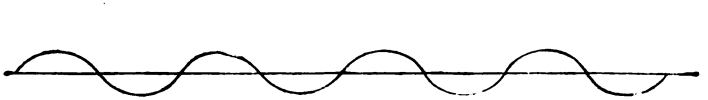


Fig. 135 (Zu S. 186 u. 197)

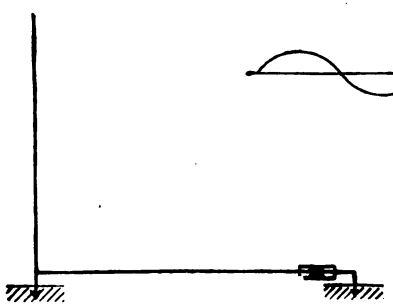


Fig. 131 (Zu S. 184)

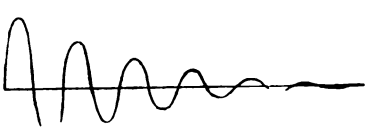


Fig. 136 (Zu S. 186 u. 197)

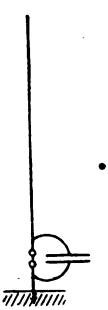


Fig. 137 (Zu S. 187)

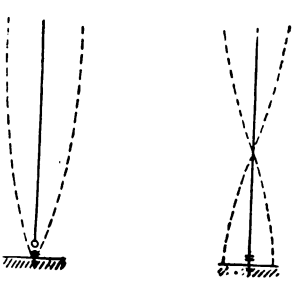


Fig. 130 (Zu S. 183)

Digitized by Google

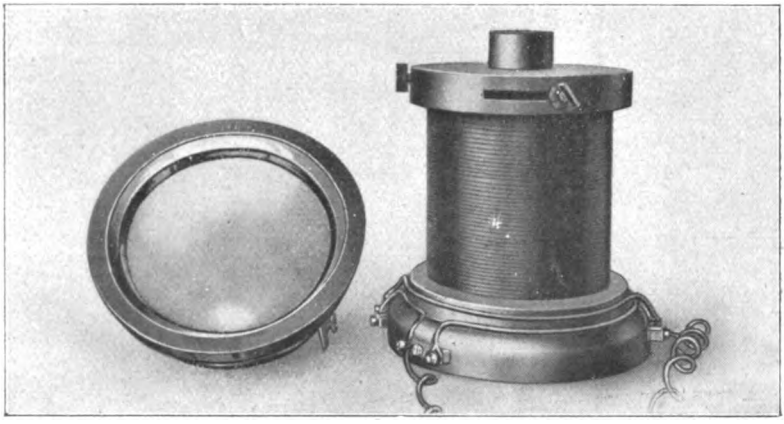


Fig. 139 (Zu S. 190)

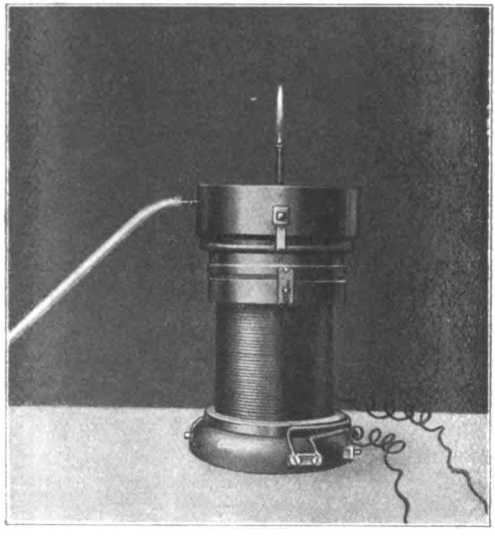


Fig. 140 (Zu S. 191)

Digitized by Google

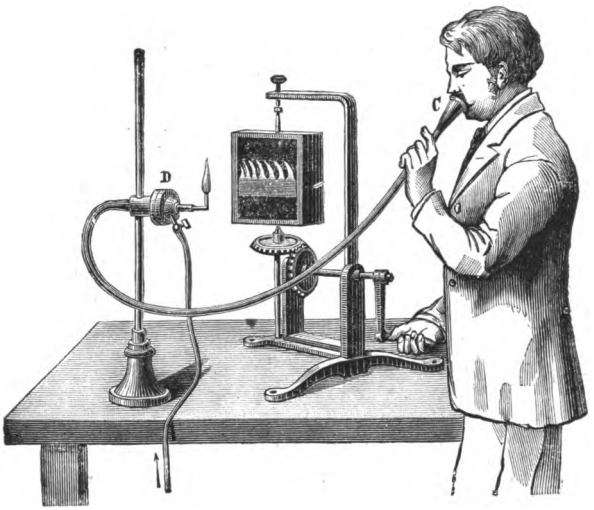


Fig. 141 (Zu S. 191)

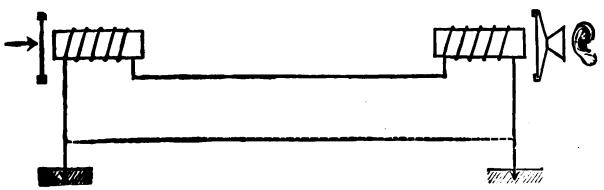


Fig. 143 (Zu S. 192)

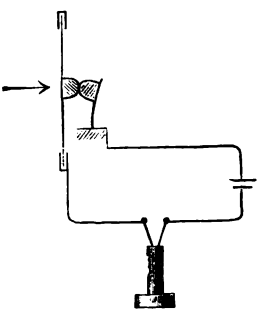


Fig. 144 (Zu S. 193)

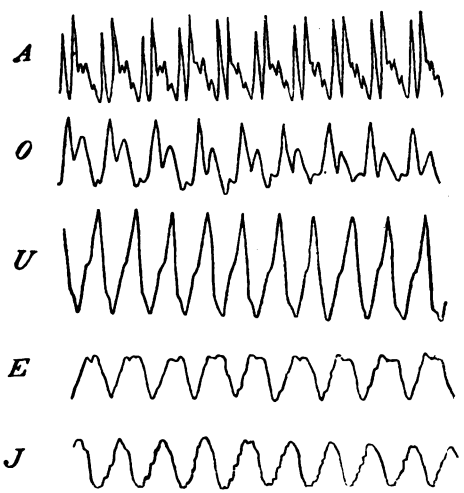


Fig. 142 (Zu S. 192)

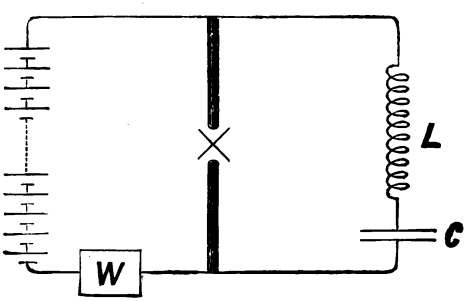


Fig. 147 (Zu S. 198)

Digitized by Google

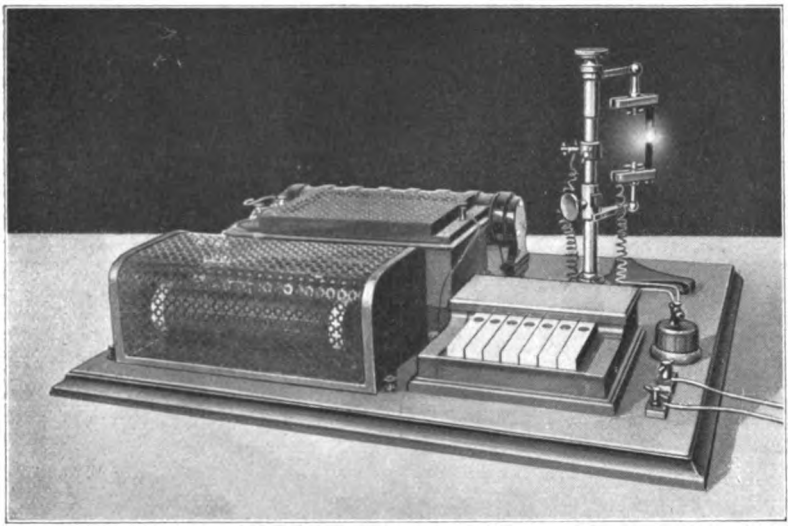


Fig. 148 (Zu S. 199)

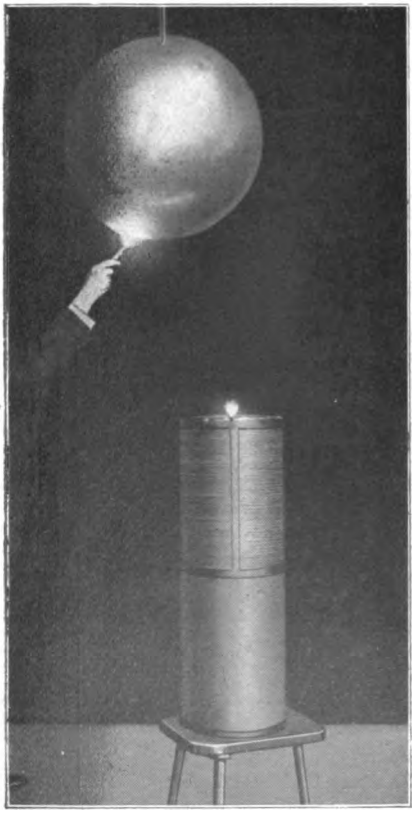


Fig. 149 (Zu S. 201)

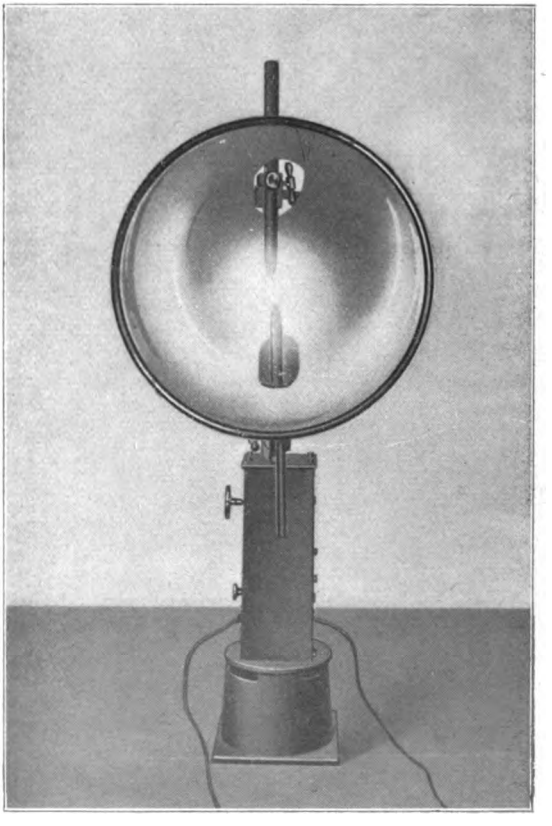


Fig. 146 (Zu S. 194)

Digitized by Google

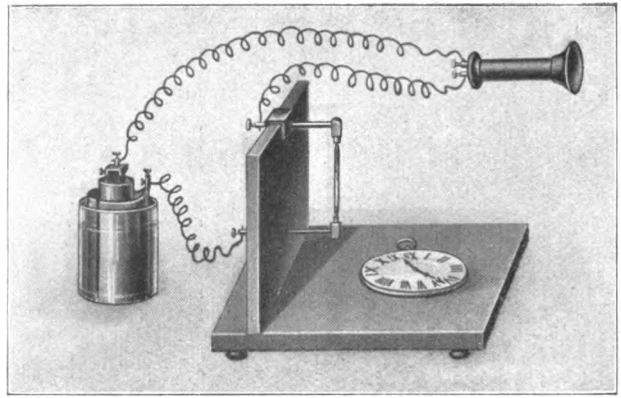


Fig. 145 (Zu S. 193)

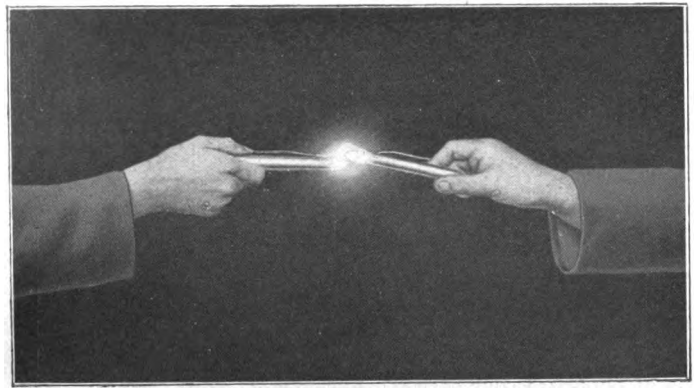


Fig. 150 (Zu S. 202)

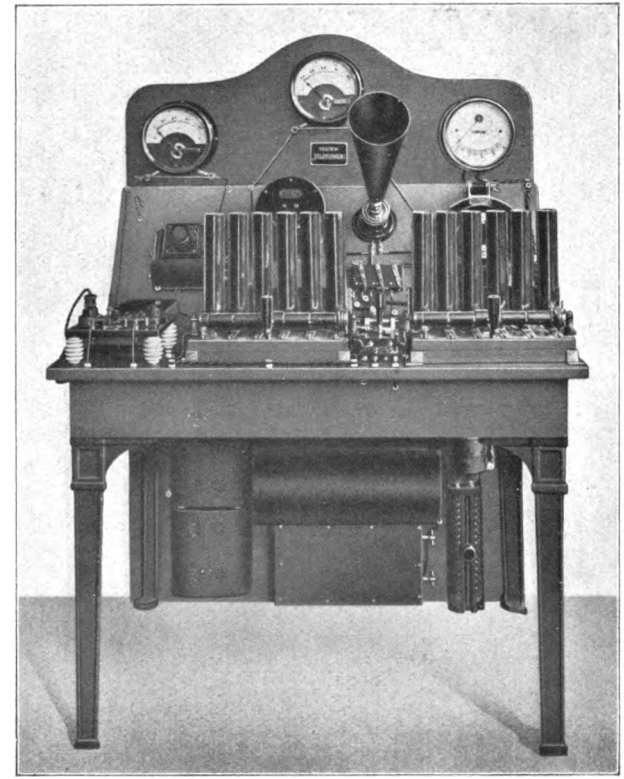


Fig. 152 (Zu S. 204)

Digitized by Google

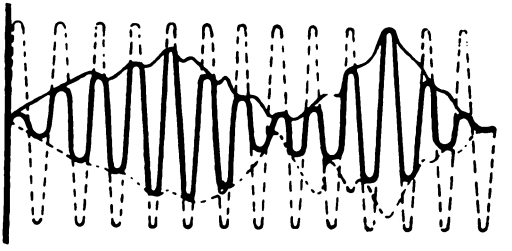


Fig. 151 (Zu S. 203)

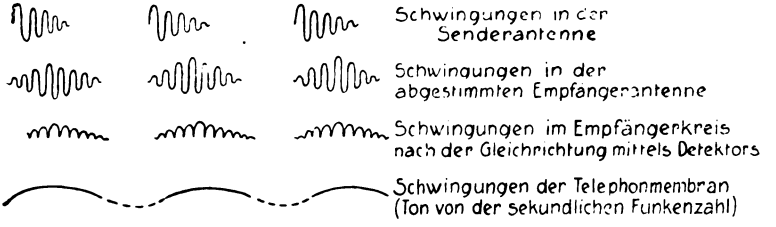


Fig. 153 (Zu S. 208)

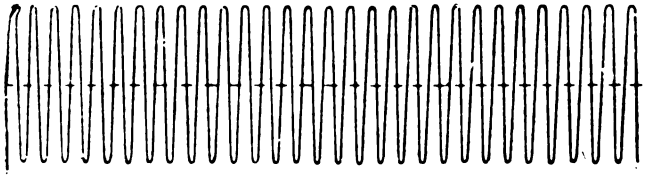


Fig. 155 (Zu S. 209)

Fig. 160 (Zu S. 217)

Digitized by Google

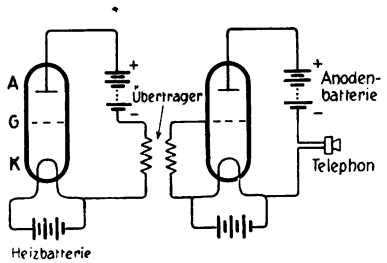


Fig. 157 (Zu S. 214)

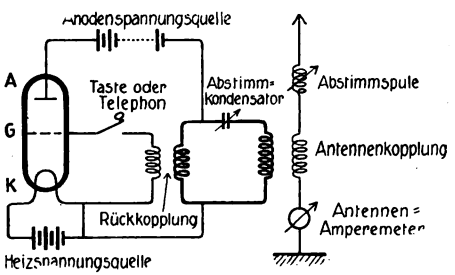


Fig. 158 (Zu S. 214)

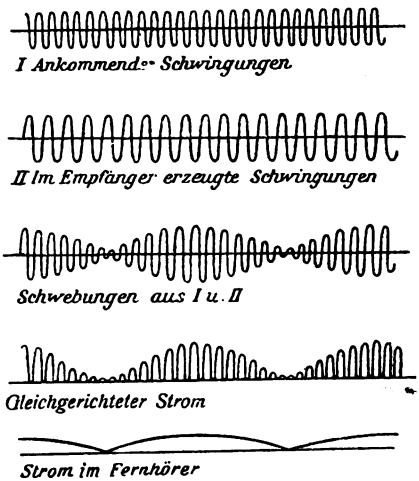


Fig. 159 (Zu S. 215)

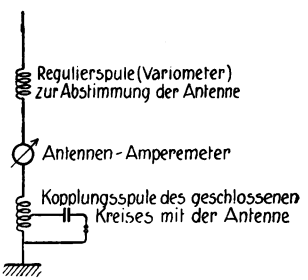


Fig. 154 (Zu S. 208)

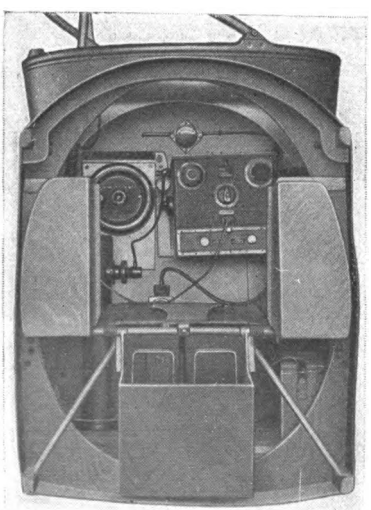


Fig. 161 (Zu S. 218)

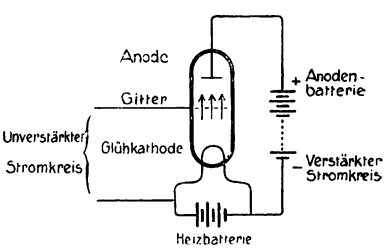


Fig. 156 (Zu S. 213)

Digitized by Google

Fig. 162 (Zu S. 218)

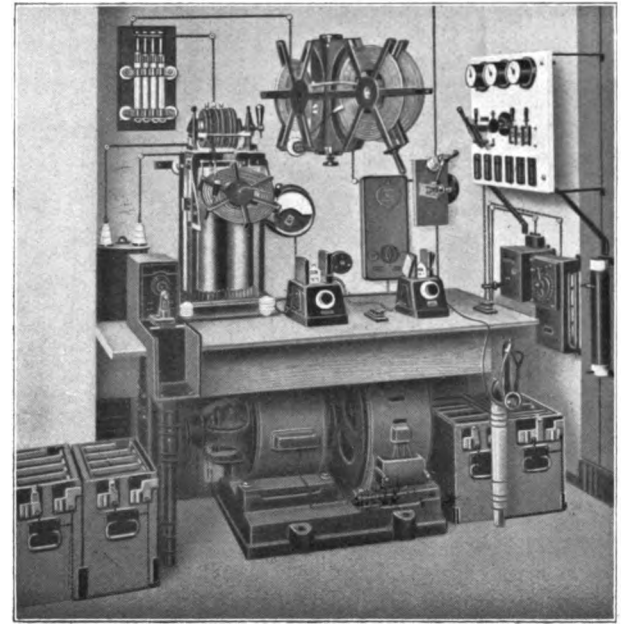


Fig. 163 (Zu S. 218)

Tafel LIV

Digitized by Google

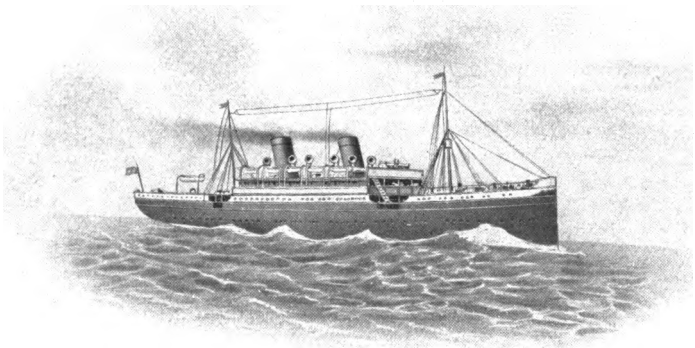


Fig. 164 (Zu S. 218)

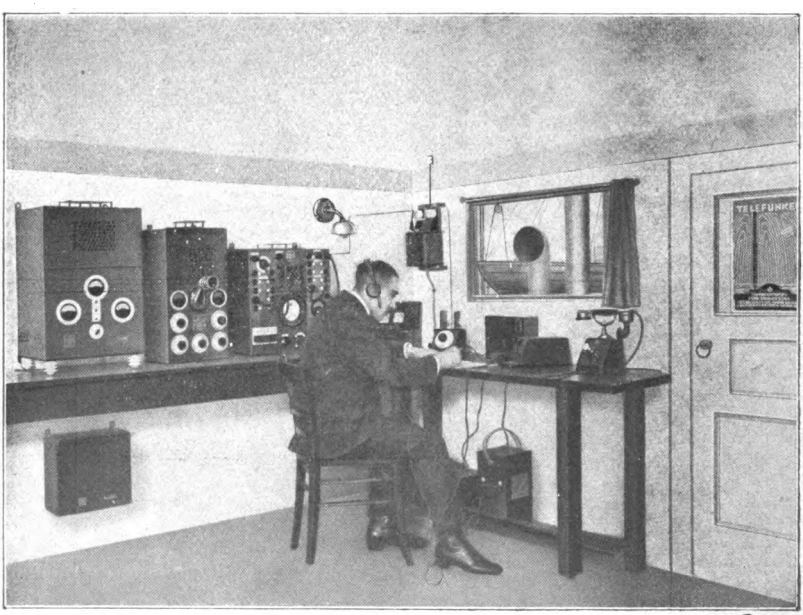


Fig. 165 (Zu S. 218)

Digitized by Google

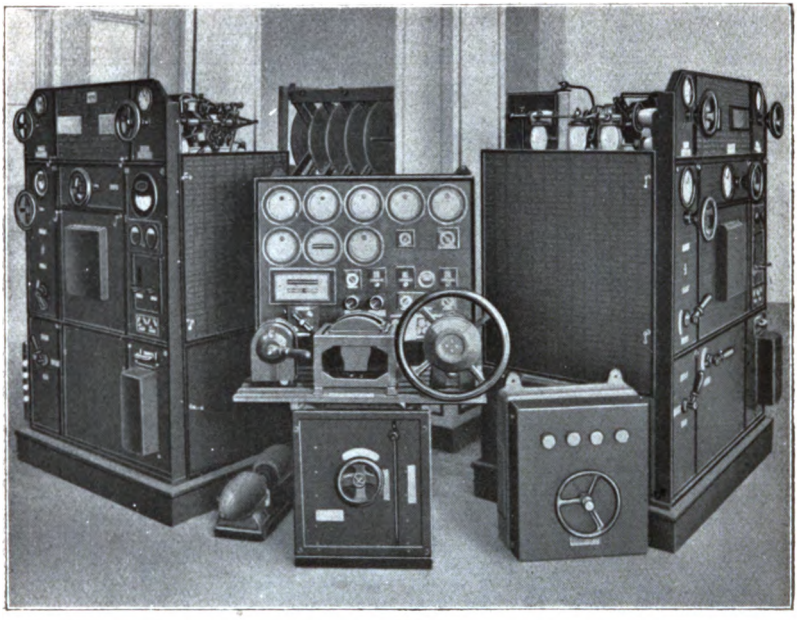


Fig. 166 (Zu S. 219)

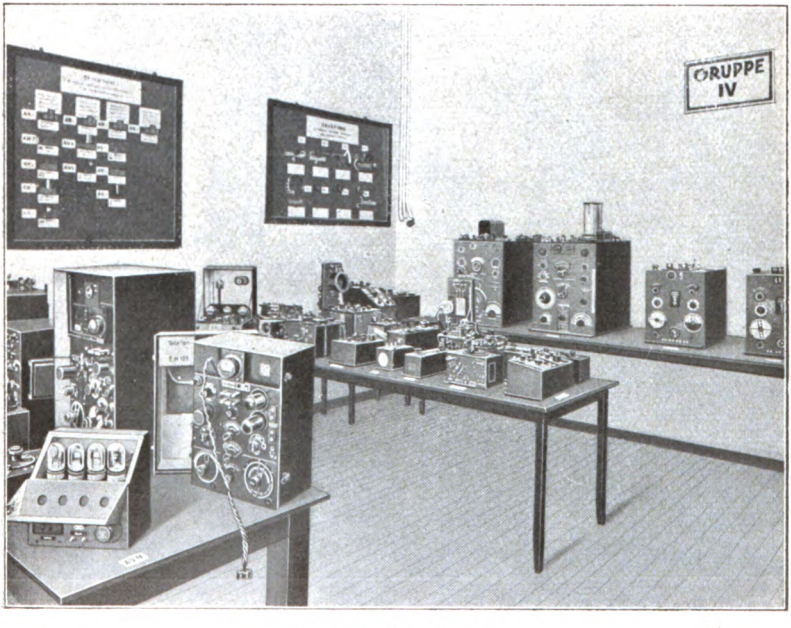


Fig. 167 (Zu S. 219)

Digitized by Google

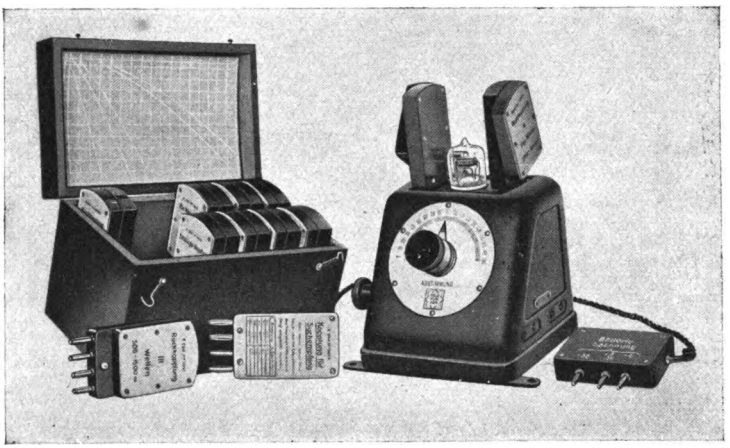


Fig. 163 (Zu S. 219)

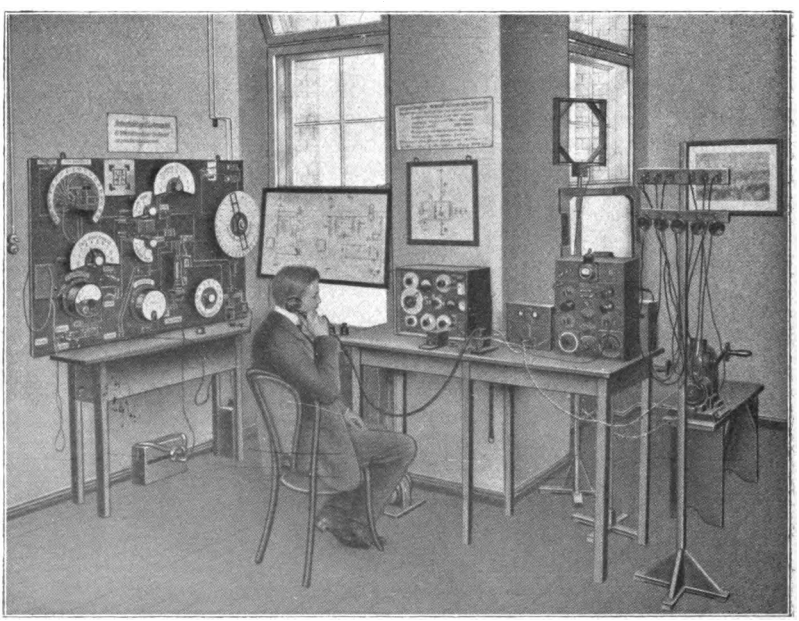


Fig. 171 (Zu S. 222 u. 223)

Digitized by Google

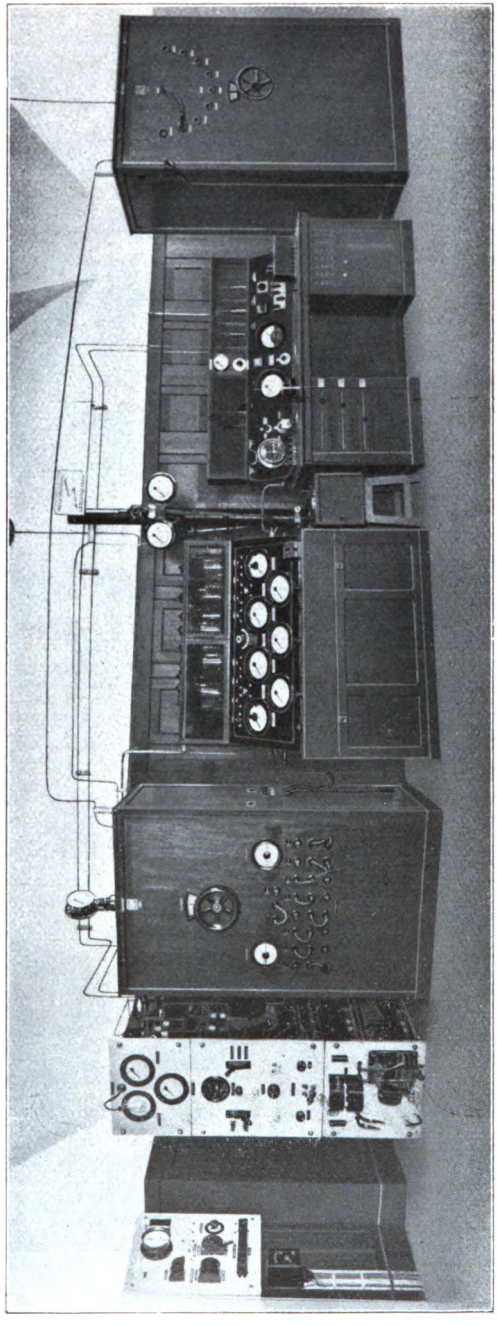


Fig. 172 (Zu S. 223)

Digitized by Google

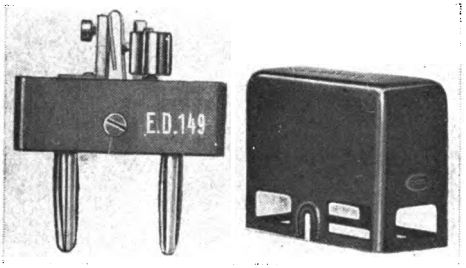


Fig. 169 (Zu S. 221)

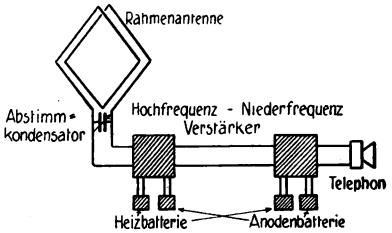


Fig. 175 (Zu S. 224)

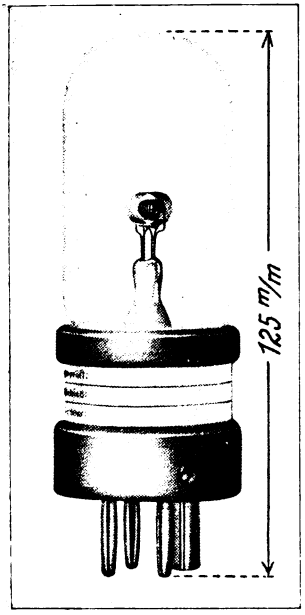


Fig. 174 (Zu S. 224)

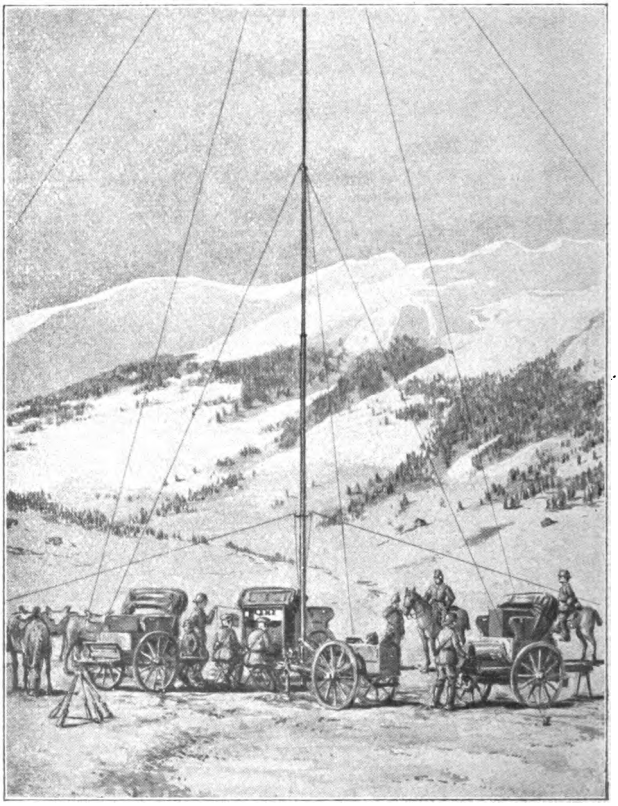


Fig. 170 (Zu S. 222)

Digitized by Google

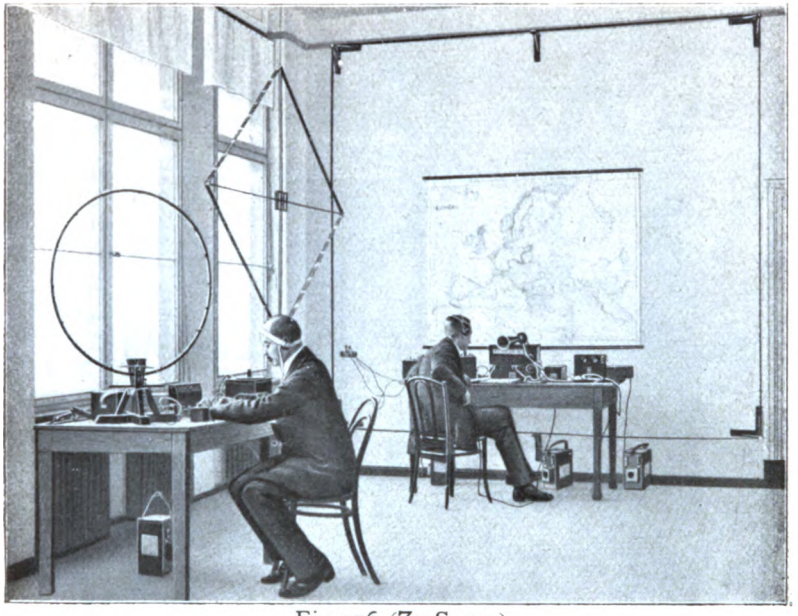


Fig. 176 (Zu S. 224)

Fig. 177 (Zu S. 224)

Digitized by Google

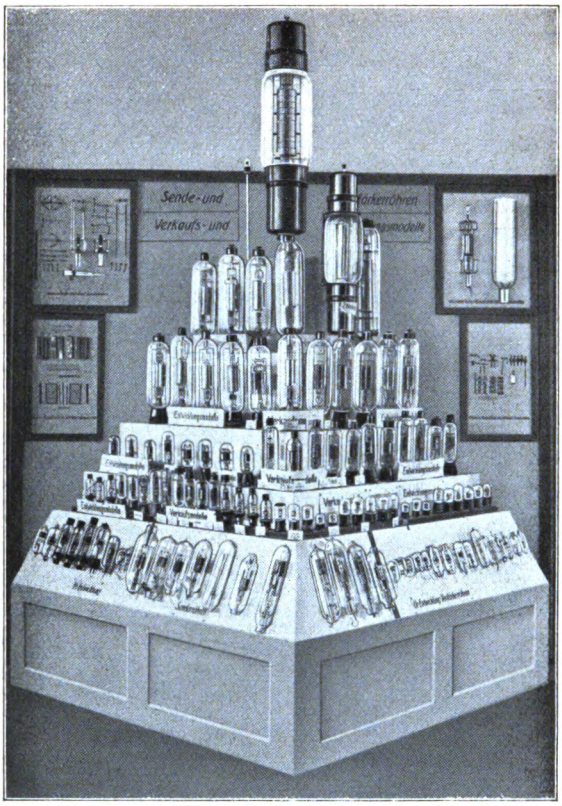


Fig. 173 (Zu S. 223)

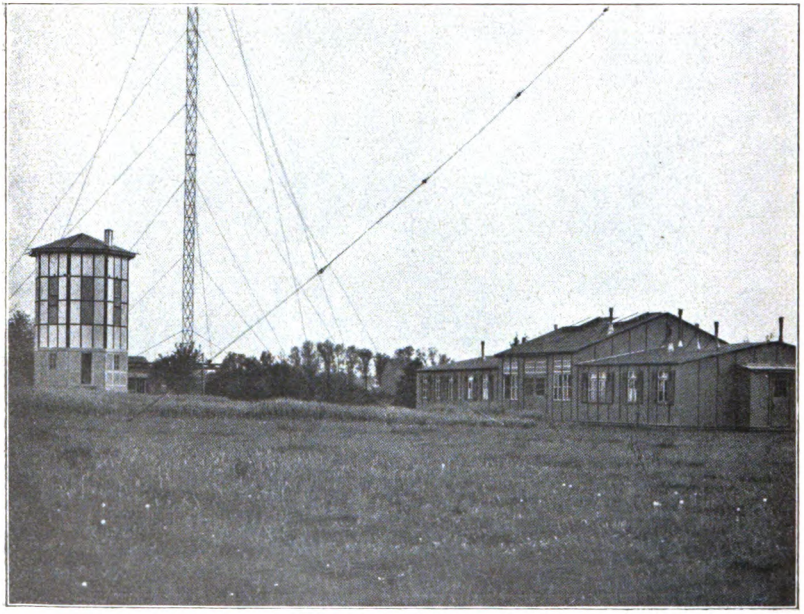


Fig. 180 (Zu S. 232)

Digitized by Google

Fig. 178 (Zu S. 229)

Antennenanlage der Großstation Nauen.

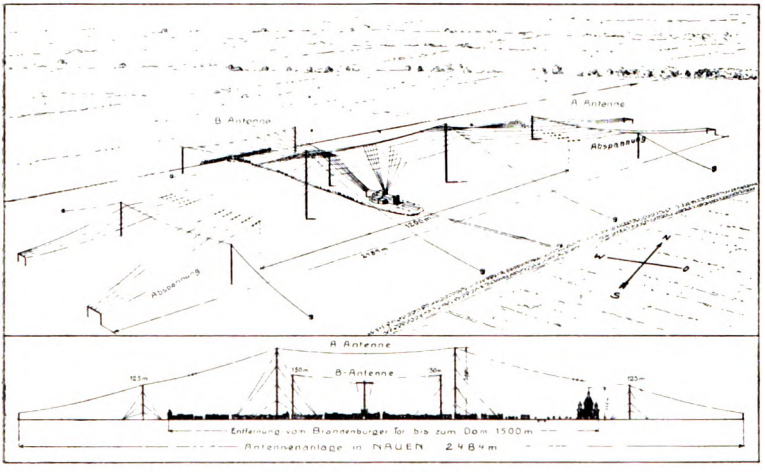


Fig. 179 (Zu S. 231)

Digitized by Google

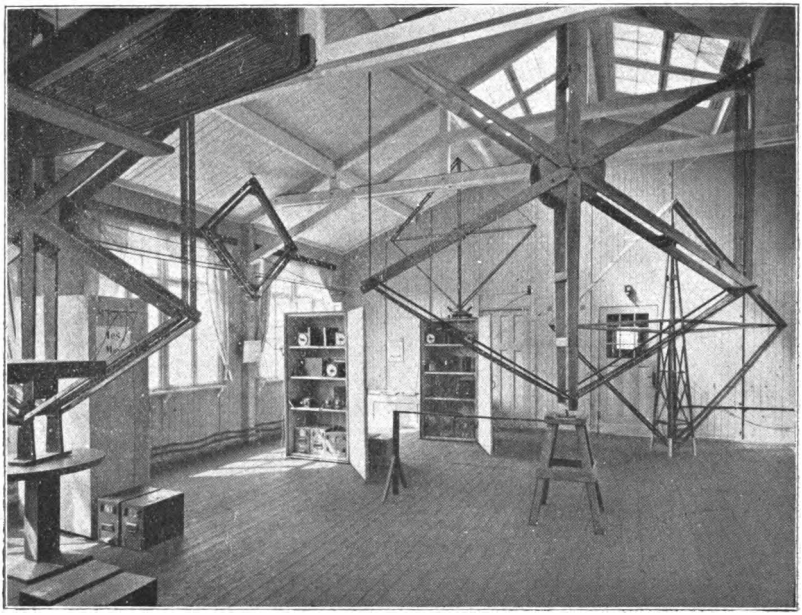


Fig. 181 (Zu S. 233)

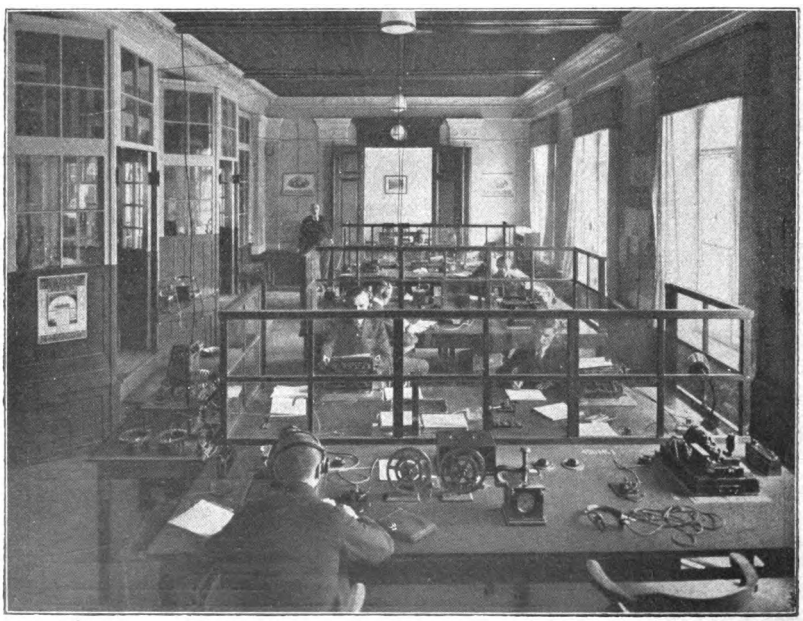


Fig. 182 (Zu S. 233)

Digitized by Google

Digitized by Google

STANFORD UNIVERSITY LIBRARY

To avoid fine, this book should be returned on or before the date last stamped below.

Digitized by Google

Engineering Library
HISTORICAL COLLECTION

316888

Digitized by Google